

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Konstrukční návrh kotle na pevná paliva  
pro zvýšení emisní třídy z č. 3 na emisní třídu č. 4

Engineering Design of Solid Fuel Boilers  
to Increase the Share Class from No. 3 to No. 4 Emission Class

Studentka:

Bc. Lenka Popelková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Matoušek, Ph. D.

Ostrava 2015

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lenka Popelková**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma: **Konstrukční návrh kotle na pevná paliva pro zvýšení emisní třídy z č. 3  
na emisní třídu č. 4**  
**Engineering Design of Solid Fuel Boilers to Increase the Share Class  
from No. 3 to No. 4 Emission Class**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši k dokumentaci pro zvýšení emisní třídy kotle
2. Na základě rešerše proveďte konstrukční návrh úpravy kotle na zvýšení emisní třídy
3. Před konstrukčními úpravami uskutečňte emisní měření kotle
4. Po konstrukčních úpravách proveďte emisní měření kotle a zhodnocení úprav vedoucích ke zvýšení emisní třídy kotle

Seznam doporučené odborné literatury:

TOMAN, Z., BÁLEK, S., KLEČKOVÁ, Z. *Tepelně technické výpočty*. VŠB-TU Ostrava, HGF. Ostrava 1983.  
CIHELKA, J. *Vytápění, větrání, klimatizace*.  
RAŽNJEVIČ, K. *Termodynamické tabulky*. Alfa, 1983.  
ČSN EN 303-5. *Nariadení vlády číslo 163/2002 Sb.*

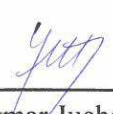
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Matoušek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studentky

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně všech příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě ..... 30.9.2015 .....

.....  
popelkova  
podpis studentky

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 30.9.2015

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lenka Popelková

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Stará Ves nad Ondřejnicí



## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

POPELKOVÁ, L. *Konstrukční návrh kotle na pevná paliva pro zvýšení emisní třídy z č. 3 na emisní třídu č. 4 diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 85 s. Vedoucí práce: Matoušek, J.

Diplomová práce popisuje návrh konstrukční úpravy automatického kotle na uhlí, její výrobu, praktické zapojení do kotle a následné ověření, zda bylo dosaženo lepších výsledků při vytápěcím procesu. Zaměřuje se hlavně na emise znečišťujících látek a zvýšení tepelného výkonu kotle. Práce seznamuje s fakty ohledně znečišťování ovzduší a s legislativou v České republice upravující tuto problematiku. Na základě teoretických poznatků je provedena úprava kotle pomocí turbulátoru spalín, která je ověřena měřeními a vyhodnocením výsledků. Závěrem práce je zhodnocení vlivu úpravy kotle na množství úletu tuhých znečišťujících látek a na teplovodní výkon kotle.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

POPELKOVÁ, L. *Engineering Design of Solid Fuel Boilers to Increase the Emission Class from No. 3 to No. 4 Emission Class: Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy Engineering, 2014, 85 p. Thesis head: Matoušek, J.

Master thesis deals about design modification of automatic coal - fired boiler, its heat boiler connection and verification of emission's results evaluation and power output during process of heating. There are stated a sources of pollutions and legislation in Czech Republic, which is engaged in this problematic. Based on theoretical knowledge is carried out a modification of boiler by vortex generator of combustion products, and which is clarified by measuring with results valuation. In the end of the thesis is carried out evaluation of boiler modification for the quantity of fly ash and the hot - water performance of the boiler.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	9
Úvod.....	11
1 Znečišťování ovzduší .....	12
1.1 Emisní inventura .....	13
1.2 Vývoj emisí v čase .....	15
1.3 Škodliviny .....	16
2 Legislativní opatření.....	21
2.1 Zákon o ochraně ovzduší .....	22
2.2 Zákon o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu .....	24
2.3 Metodický pokyn k definici nízkoemisního spalovacího zdroje .....	24
2.4 Emisní třídy.....	25
2.5 Směrnice o ekodesignu 2009/125/ES .....	27
2.6 Směrnice o ecolabelingu 2010/30/EU .....	27
2.7 Göteborgský protokol .....	28
3 Dotační programy.....	29
3.1 Kotlíková dotace .....	29
3.2 Zelená úsporám.....	31
3.3 Program Čistá energie Praha.....	33
4 Metoda měření tmavosti kouře.....	35
5 Vlastní spalovací zařízení .....	37

5.1	Automatické kotle na spalování tuhých paliv .....	37
5.2	Automatický kotel CosmoTHERM U25 .....	38
6	Metody odlučování TZL .....	46
6.1	Základní odlučovací principy [9].....	46
6.2	Základní třídění odlučovačů .....	47
7	Výběr vhodné metody pro snížení TZL .....	50
7.1	Turbulátory .....	51
8	Stechiometrické výpočty .....	55
8.1	Výchozí parametry.....	55
8.2	Stechiometrické objemy vzduchu a spalin.....	57
8.3	Nadstechiometrické objemy vzduchu a spalin.....	58
8.4	Koncentrace jednotlivých složek ve spalinách .....	60
9	Stanovení nedopalu ve škváře .....	62
10	Měření na vlastním kotli .....	64
10.1	Příprava před zahájením měření .....	64
10.2	Zahájení a průběh měření .....	65
10.3	Hodnoty získané měřením bez turbulátorů .....	67
10.4	Provedení konstrukční úpravy kotle .....	72
10.5	Hodnoty získané měřením s turbulátory .....	72
10.6	Množství TZL zachyceného v kotli .....	75
11	Porovnání stavu s a bez .....	77

Závěr.....	79
Poděkování .....	83
Seznam příloh.....	84

## Seznam použitých značek a symbolů

$A$	popelovina v palivu	[1]
$C$	uhlík v palivu	[1]
$D_{stř}$	střední průměr pružiny	[m]
$H$	vodík v palivu	[1]
$N$	dusík v palivu	[1]
$O$	kyslík v palivu	[1]
$Q_i$	výhřevnost paliva	[kW]
$Q_{out}$	tepelný výkon	[kW]
$S_p$	stoupání pružiny	[m]
$S$	síra v palivu	[1]
$V_{Ar,vz,s}$	objem Ar ze vzduchu skutečný	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{CO_2,p,s}$	objem CO <sub>2</sub> z paliva skutečný	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{CO,s}$	objem CO skutečný	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{CO_2,vz,s}$	objem CO <sub>2</sub> ze vzduchu skutečný	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{H_2O,s}$	objem páry skutečný	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{H_2O,t}$	objem páry teoretický	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{N_2,p,s}$	objem N <sub>2</sub> z paliva skutečný	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{N_2,vz,s}$	objem N <sub>2</sub> ze vzduchu skutečný	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{O_2,s}$	objem O <sub>2</sub> skutečný	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{pal}$	objem paliva	[m <sup>3</sup> ]
$V_{sp,s^s}$	objem spalín skutečných suchých	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{sp,s^v}$	objem spalín skutečných vlhkých	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{sp,t^v}$	objem spalín teoretických vlhkých	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{sp,t^s}$	objem spalín teoretických suchých	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{vz,s^s}$	objem vzduchu skutečného suchého	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{vz,s^v}$	objem vzduchu skutečného vlhkého	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$V_{vz,t^s}$	objem vzduchu teoretického suchého	[m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kg]
$W$	voda v palivu	[1]
$\dot{V}$	objemový průtok vody	[m <sup>3</sup> /s]

$c_p$	střední měrná tepelná kapacita	[kJ/(m <sup>3</sup> ·K)]
$h$	hořlavina v palivu	[1]
$l_p$	délka šroubovice	[mm]
$\dot{m}_{pal}$	hmotnostní průtok paliva	[kg/s]
$\dot{m}_v$	hmotnostní průtok vody	[kg/s]
$n$	přebytek vzduchu	[1]
$n_p$	počet stoupání pružiny	[1]
$t_n$	teplota za normálních podmínek	[°C]
$t_{in}$	vstupní teplota do výměníku	[°C]
$t_{out}$	výstupní teplota z výměníku	[°C]
$t$	průměrná teplota ve výměníku	[°C]
$\nu$	součinitel vlhkosti	[1]
$\rho$	měrná hmotnost vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\omega_i$	koncentrace složek spalin	[1]



## Úvod

Každý podzim, jakmile začne topná sezóna, na většině území České republiky dojde k zhoršení kvality ovzduší. Žiji v Ostravě v Moravskoslezském kraji. Moravskoslezský kraj má, spolu s Mosteckým, nejhorší ovzduší v zemi. Malá spalovací zařízení mají na tento jev zásadní vliv. Na vesnicích bývá znečištění často horší než v průmyslových oblastech. Na vině jsou zastaralá lokální topeniště, spalování nekvalitního paliva nebo dokonce i odpadů. Jako účinné řešení se projevilo vyměnit staré kotle za nové, nejčastěji plně automatické.

Pro téma své diplomové práce jsem si vybrala automatický kotel na pevná paliva, který jsme si v roce 2013 koupili domů. Byl pořízen v době, kdy v České republice byly na trhu automatické kotle na pevná paliva s nejvyšší emisní třídou č. 3. Splňuje tedy požadavky současné i tehdejší legislativy pro kotle na pevná paliva. Jenže v polovině roku 2013 byl na trh uveden kotel stejného výrobce i typu, který už byl certifikován na 4. emisní třídu. A následně se přidávali další výrobci. V současné době je naše 3. emisní třída nejnižší možná, která se dá pořídit. Dnes, v r. 2015, jsou už běžně dostupné kotle na pevná paliva zcertifikované na 4. a 5. emisní třídu. Začala jsem se tedy zajímat, jak bychom mohli z našeho stávajícího kotle udělat kotel s vyšší emisní třídou a tedy s nižšími emisemi a snad i vyšší účinností.

Ve své práci se budu zabývat způsobem, který by byl dostupný pro snížení emisí na výstupu z komína. Navrhnou vhodné řešení a pomocí porovnání stavu před úpravou a po konstrukční úpravě kotle vyhodnotím, zda dané řešení splnilo očekávání a snížilo emise mého kotle. Cílem je snížit škodlivé látky odcházející do ovzduší a zlepšit účinnost automatického kotle.

## 1 Znečišťování ovzduší

Ovzduším obecně rozumíme vzdušný obal Země. Výraz znečišťování ovzduší, neboli emise, zahrnuje velkou škálu činností, které způsobují únik znečišťujících látek do ovzduší. Znečišťující látky se časem v atmosféře odstraní třemi základními principy:

- Když látku zachytí zemský povrch, jedná se o suchou depozici.
- Pokud jsou škodliviny vymývány deštěm nebo mraky, jde o mokrou depozici.
- Dále může dojít k odstranění pomocí chemických reakcí v dolních vrstvách atmosféry.

### Emise

Pojem emise vyjadřuje tok znečišťující látky do ovzduší, např. v kilogramech za sekundu.

### Imise

Zatímco pojem imise představuje koncentraci znečišťujících látek v přízemních vrstvách ovzduší. Je to projev emise na definovanou oblast. Imise pevných a kapalných částic se vyjadřuje jako dopad částic na definovanou plochu nebo jako obsah škodlivých částic v jednotkovém objemu. Nejčastěji se imise určují z plynných emisí. Imise se nejčastěji vyjadřují v miliardtině kilogramu na  $m^3$ .

Zdroje těchto procesů mohou být dvojího původu:

- Přírodního původu
- Antropogenního původu

Tyto se mohou mezi sebou prolínat.

Mezi přírodní procesy způsobující vnos emisí do ovzduší patří např. sopečná činnost, požáry, produkce znečišťujících látek rostlinami, sirovodík a čpavek produkovány bakteriemi apod. V tabulce č. 1.1 je možné vidět, které pevné palivo způsobuje jaké emise TZL.

Množství prachu vyprodukované jedním rodinným domem za rok při vytápění pevnými palivy [kg/rok a dům]					
Typ kotle	Druh paliva				
	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Biomasa	Buk	Smrk
Automatický kotel	6	12	0,1-12		
Prohořivací kotel	249	59		16	
Odhořivací kotel	32	52		15	
Zplyňovací kotel	2			9	10
Krbová kamna				7	

Tab. č. 1.1 TZL za rok na domě [<http://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>]

Antropogenní zdroje jsou ty, které způsobují lidé. Největší antropogenní zdroj je výroba energie spalováním fosilních, kapalných i plyných paliv. Rozlišujeme antropogenní zdroje na primární a sekundární. Primárně antropogenní znečišťující procesy jsou ty, kdy jsou emise vnášeny do ovzduší přímo ze zdroje, např. spalováním v ocelářských pecích. Sekundární vznik emisí je brán jako důsledek fyzikálně-chemických reakcí v atmosféře.

### 1.1 Emisní inventura

Ministerstvo životního prostředí pověřilo Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) hodnocením znečišťujících látek antropogenního původu a skleníkových plynů. Emisní inventura je kombinace přímého sběru údajů, které vykazují provozovatelé znečišťujících zdrojů a modelových výpočtů z ohlášených dat nebo statistických výsledků. Výsledkem emisní inventury jsou emisní bilance. Ty se uchovávají v databázi Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO). Zde jsou archivovány a prezentovány údaje o stacionárních a mobilních zdrojích emisí. Podle způsobu sledování jsou tyto zdroje znečištění rozděleny na zdroje sledované jednotlivě a zdroje sledované hromadně. Rozdělení jednotlivých zdrojů znečištění jsou popsány v tabulce 1.2. Dělí se na 4 kategorie: velké, střední, malé a mobilní zdroje. Sleduje znečištění základními škodlivinami jako je prach, CO, NO<sub>x</sub> a SO<sub>2</sub>.

Druh zdroje	Vyjmenované stacionární zdroje	Nevyjmenované stacionární zdroje	Mobilní zdroje
Kategorie	REZZO 1, REZZO 2	REZZO 3	REZZO 4
Obsahuje	Stacionární zařízení ke spalování paliv o celkovém tepelném příkonu vyšším než 0,3 MW, spalovny odpadů, jiné zdroje (technologické spalovací procesy, průmyslové výroby, apod.).	Stacionární zařízení ke spalování paliv o celkovém tepelném příkonu do 0,3 MW, nevymenované technologické procesy (použití rozpouštědel v domácnostech apod., stavební práce, zemědělské činnosti).	Silniční, železniční, lodní a letecká doprava osob a přeprava nákladu, otěry brzd a pneumatik, abraze vozovky a odpary z palivových systémů benzínových vozidel, provoz nesilničních strojů a mechanismů, údržba zeleně a lesů, apod.
Původ emisí	Ohlášené emisní údaje vyjma zjednodušených hlášení* podle přílohy č. 11 vyhlášky č. 415/2012 Sb.	Vypočtené emise z aktivitních údajů získaných např. ze SLDB, výrobních a energetických statistik, Sčítání dopravy a registru vozidel, apod., a emisních faktorů.	
Způsob evidence	Zdroje jednotlivě sledované <ul style="list-style-type: none"> <li>• REZZO 1 – ohlašované emise</li> <li>• REZZO 2 – emise vypočítávané z ohlášených spotřeb paliv a emisních faktorů.</li> </ul>	Zdroje hromadně sledované.	Zdroje hromadně sledované.

Tab. č. 1.2 Rozdělení zdrojů znečišťování podle způsobu sledování emisí [6]

Jednotlivě sledované zdroje emisí REZZO jsou vyjmenované v zákoně o ochraně ovzduší. Provozovatelé těchto zdrojů jsou povinni vést vlastní evidenci o provozních údajích na vstupu a výstupu zdroje. Toto pak tyto evidence nahlásí jedenkrát ročně od ledna do března do databáze REZZO 1 a REZZO 2.

Emise z lokálního vytápění patří mezi hromadně sledované zdroje znečištění do REZZO 3. Spolu s fugitivními emisemi, což jsou znečišťující látky, které produkují procesy jako např. únik emisí přes okna, ventilaci, netěsnostmi rozvodů a při nakládání s rozpouštědly. Dále jsou zde zahrnuty emise ze stavebního a zemědělského průmyslu, z chovu hospodářských zvířat, používání hnojiv apod. Emise z lokálních topenišť jsou závislé hlavně na charakteru topné sezóny a na skladbě spalovacích zařízení. Díky tlaku na výměnu starých spalovacích zařízení za moderní by se mělo znečištění TZL do budoucna stále zlepšovat. Zdroj těchto informací jsou výsledky Sčítání lidí bytů a domů.

V REZZO 4 jsou sledovány, také hromadně, údaje o mobilních zdrojích znečištění. Jedná se o emise z dopravy. Zahrnuta je zde doprava silniční, železniční, vodní, letecká,

mimosilniční, také emise z otěrů pneumatik, brzd, abraze vozovek. Zde jsou zdrojem údaje o prodeji pohonných hmot.

## 1.2 Vývoj emisí v čase

Vývoj je odrazem naší a světové ekonomické a politické situace s ohledem na rozvoj poznání v oblasti životního prostředí. V letech 1990 – 2014 emise výrazně poklesly v kategorii REZZO 1 a REZZO 2 díky systému řízení kvality ovzduší. Řízení kvality ovzduší je aplikováno pomocí normativních, ekonomických a informačních nástrojů. V roce 1998 se zavedly emisní limity, restrukturovalo se národní hospodářství, modernizují se zdroje a některé podniky ukončily provoz. Projevilo se to například u výroby železa a oceli. Ukončení výroby surového železa ve Vítkovických železárnách v r. 1998 pomohlo zlepšit ovzduší přímo v Ostravě. Energetický průmysl prochází modernizací, používají se nízkoemisní fluidní kotle, odsířily se uhelné elektrárny apod. Stále je však kladen důraz na zdroje kategorie REZZO 3 a REZZO 4. Konkrétně na lokální topeniště a na dopravu. Výrazně pomohla v letech 1993-1997 plynofikace obcí a státní podpory na elektrické vytápění. Spotřeba fosilních paliv klesla do r. 2001 o 60 %. Od této doby trend snižování spotřeby fosilních paliv v domácnostech už nepokračuje. Důvodem jsou rostoucí náklady za plyn a elektřinu. Od r. 2009 je zaveden dotační program Zelená úsporám a vyměňují se kotle za nízkoemisní zdroje tepla. Na celkovou emisní bilanci to má ovšem minimální vliv.

V roce 2012 vstoupil v platnost nový zákon o ochraně ovzduší. Zpřísňuje emisní limity pro průmyslové zdroje. Nové emisní limity jsou odstupňované v čase tak, aby se provozovatelé mohli postupně připravit na jejich dodržování. Snižují se hlavně emise pocházející z výroby surového železa. Je to nejvyšší zátěž pro životní prostředí, což se týká tuhých znečišťujících látek a oxidu uhelnatého. Dále se upravují postupně provozy energetického a teplárenského průmyslu. Ty zase vypouštějí nejvíce oxidu siřičitého a oxidů dusíku. Předpokládáme tedy i nadále snižování trendu emisí u stacionárních zdrojů. A to do r. 2016. Další oblastí, které se zákon dotýká, jsou lokální topeniště. I zde platí maximální limity emisí. Od r. 2022 bude zakázáno používat staré zařízení, které nedosáhne min. na emisní třídu č. 3. Do budoucna můžeme tedy očekávat další dlouhodobé snížení znečištění ovzduší.

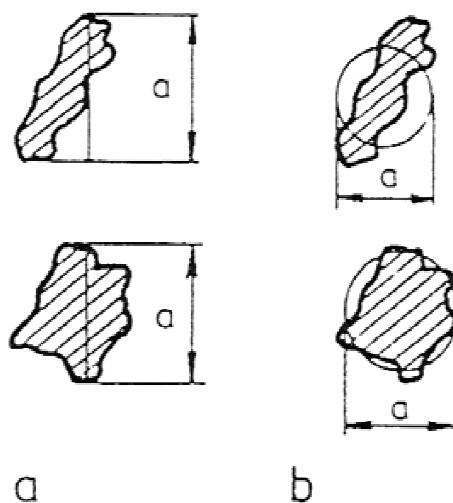
### 1.3 Škodliviny

Škodliviny jsou látky znečišťující ovzduší, které ovlivňují jeho kvalitu tak, že mohou způsobit poškození zdraví lidí a zvířat nebo také narušit pohodu prostředí zápachem, sníženou viditelností apod. Znečišťující látky jsou rozděleny do několika skupin. Mezi základní skupinu patří tuhé znečišťující látky, oxid siřičitý, oxidy dusíku a oxid uhelnatý. Další skupiny jsou skleníkové plyny jako např. oxid uhličitý, karcinogenní látky, tuhé anorganické a plynné anorganické látky, organické plyny a páry a zvláštní skupinou jsou pachy. Jejich intenzita se znázorňuje na stupnici od 0 – žádný pach až po 5 – velmi silný pach. [9][12]

#### Tuhé znečišťující látky (TZL)

TZL jsou nejzávažnější a nejvíce sledované škodliviny ve spalovacích procesech. Jejich snížení je nejzásadnější pro zdraví lidí a pro čistější ovzduší. Obsah TZL v ovzduší se udává hmotnostní koncentrací  $C$  [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]. Tuhé znečišťující látky jsou ve zjednodušeném podání prachové částice. Jsou to dým, kouř, popílek a prach. Při čemž dým jsou částice vzniklé při oxidačních procesech kondenzací látek vypařovaných za tepla. Třeba u svařování nebo tavení kovů. Kouř vzniká nedokonalým spalováním a obsahuje převážně nespálený uhlík. Popílek vzniká také při spalovacích procesech a to nemusí být jen nedokonalé. Prach vzniká mechanickými procesy, jako je mletí, otírání, drcení. Tuhé znečišťující látky se definují jako částice tuhého skupenství různých struktur, velikostí, hustoty a tvaru obsažené v plynné složce proudících spalin. Zásadní parametr je velikost každé částice ( $0,01 \mu\text{m} - 0,5 \text{ mm}$ ). Podle velikosti částic se určuje základní granulometrické složení prachu. Většinou se jedná o směs částic různých velikostí tzv. polydisperzní směs. Stejná velikost částic, tzv. monodisperzní směs, se vyskytuje velmi málo. Velikost částice určujeme podle jejího charakteristického rozměru. Na obrázku č. 1.1 je znázorněn charakteristický rozměr pomocí Feretova průměru (a), což je největší rozměr částice ve zvoleném směru. A průměr graticulárního kruhu (b), což je kruh s nejbližší plochou ploše částice. Velikost částic různých TZL je uveden v tabulce č. 1.3.





Obr. č. 1.1 Charakteristické rozměry částic [9]

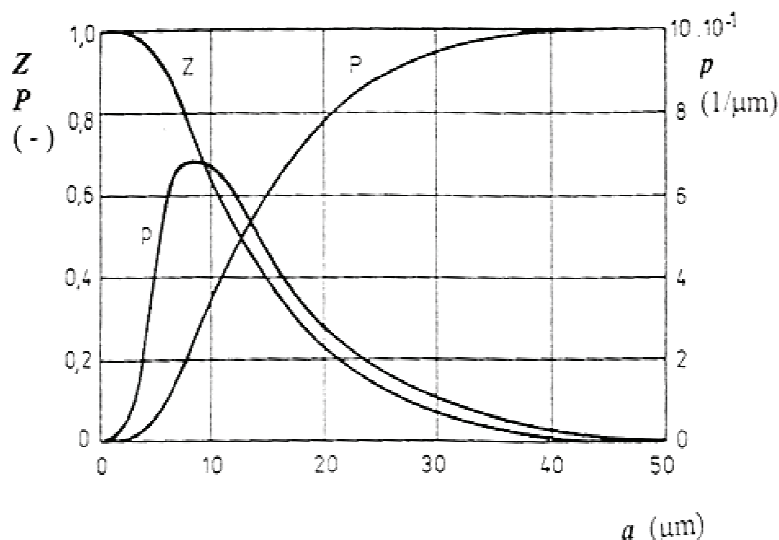
Druh prachu	a [ $\mu\text{m}$ ]
Atmosférický prach	0,1 – 1
Cement	7 – 100
Metalurgické prachy	0,5 – 100
Mlha barev	0,1 - 10
Tabákový kouř	0,01 – 0,15
Uhelný prach	10 – 300

Tab. č. 1.3 Velikosti částic různých prachů [9]

Zastoupení jednotlivých částic se vyjadřuje v grafu č. 1.1:

- křivkou četnosti  $p$  – udává poměrný počet nebo hmotnost částic určité velikosti ve zlomku
- křivkou zbytků  $Z$  – udává poměrný počet nebo hmotnost částic větších, než je příslušná částice  $a$

- křivkou propadů  $P$  – udává poměrný počet nebo hmotnost částic menších než je příslušná částice  $a$



Graf č. 1.1 Křivky četnosti, zbytků a propadu u vzorku prachu [9]

Podle obsahu škodlivin v prachu lze TZL rozdělit na prach, který obsahuje škodlivé složky, jako jsou těžké kovy, radioaktivní a karcinogenní látky, a na prach bez toxických účinků. Ty, přestože nejsou toxické, mohou mít dopad na naše zdraví. Např. křemen a černé uhlí mají fibrogenní účinky, cement, dřevěný prach, oxid vápenatý mají dráždivé účinky. Hnědé uhlí, oxidy železa, popílek jsou bez těchto negativních účinků.

Ve své práci se budu zabývat především TZL. Je to nejzávažnější složka, kterou vypouští do ovzduší lokální topeniště.

### Sloučeniny dusíku ( $\text{NO}_x$ )

Oxidy dusíku jsou souhrnně označovány jako  $\text{NO}_x$ . Vznikají reakcí mezi atomem kyslíku a molekulou dusíku. Nejhlavnějším producentem oxidů dusíku jsou spalovací zařízení, která spalují při vysokých teplotách. Největší zastoupení ve spalinách má oxid dusnatý ( $\text{NO}$ ), který tvoří 90 % z celkového množství všech  $\text{NO}_x$ . Oxid dusičný ( $\text{NO}_2$ ) bývá přítomen v 5 – 10 %. Dále to jsou oxid dusný neboli rajsý plyn ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a v omezené míře se vyskytující  $\text{N}_2\text{O}_4$  a  $\text{N}_2\text{O}_3$ .

Rozdělení NO<sub>x</sub> podle vzniku:

- Termické – jejich vznik je závislý na teplotě a vznikají reakcí dusíku ze spalovacího vzduchu
- Palivové – vznikají oxidací dusíku z paliva
- Rychlé – jejich vznik je svázán s hořením uhlovodíků v malé oblasti plamene

NO<sub>x</sub> nepříznivě ovlivňují lidské orgány. Vážou se na hemoglobin a tím zhoršují přenos kyslíku z plic do krve, způsobují nádory, respirační nemoci. V atmosféře se NO dookysličuje na mnohonásobně toxičtější NO<sub>2</sub>. Způsobuje tím úbytek ozónu.

Tzv. novodobé smogy mají hodně vysoký obsah NO<sub>x</sub>. Imisní limity souhrnně pro NO<sub>x</sub> jsou 100 µg·m<sup>-3</sup> a maximální limit je krátkodobě 200 µg·m<sup>-3</sup>. Emise oxidů dusíku snižujeme zvolením vhodné konstrukce spalovacího zařízení a správným řízením spalovacího procesu. U kotlů na uhlí je velikost emisí 800 – 2500 mg · m<sup>-3</sup>. Je to nejvíc v porovnání s plynovými kotli i s kotli na topný olej. [10]

### Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý vzniká nedokonalým spalováním uhlíku z paliva. Je to plyn bez barvy a bez zápachu, ovšem vysoce toxický. Váže se na hemoglobin 200krát rychleji než kyslík. Současně vzniká karboxyhemoglobin a ten způsobuje udušení a otravu.

Příčinou nedokonalého spalování je nedostatek spalovacího vzduchu nebo rychlé ochlazení plamene. Oxid uhelnatý je součástí výfukových plynů, koksárenského plynu, vysokopecního a degazačního plynu. Na velkém množství emisí se podílí hlavně ohniště s periodickým spalováním, kde se přikládá v jedné chvíli větší množství paliva.

Vhodným řízením spalovacího procesu můžeme vznik CO snížit, ale nelze mu zcela zabránit.

### Oxidy síry

Síru obsahuje palivo v popelovině i v hořlavině. Po spalovacím procesu síra síranová zůstává ve škváře a ostatní formy síry odchází ve spalinách jako SO<sub>2</sub>. Oxidací ve spalovacím procesu se dále přeměňuje na SO<sub>3</sub>. V přírodě SO<sub>2</sub> způsobuje sopečná činnost.

Oxidy síry způsobují struskování paliva, korozi spalovacích zařízení a emise. Ty mají za následek poškození sliznice průdušek a očních spojivek u lidí i zvířat. Při vyšších koncentracích mají vliv na činnost mozkové kůry a snižují průchodnost plic. Při dlouhodobém působení  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  může dojít i ke smrti následkem nemoci krevního oběhu a chronickou bronchitidu. V přírodě díky  $\text{SO}_2$  hynou lišejníky a jehličnany.

Obsah  $\text{SO}_2$  můžeme ovlivnit už při výběru paliva. Existují nízkosíratá uhlí až po uhlí s vysokým procentem síry. Záleží na lokalitě, odkud je uhlí těženo. Obsah síry v palivu lze snížit jeho úpravou před spalováním jako je drcení a po té odlučování hlušiny a proplásku, flotací, magnetickou separací, pomocí solí železa nebo alkalickým roztokem. Využívanější variantou je odstranění oxidů síry až ze spalin na konci spalovacího procesu. A to mokrou nebo suchou metodou odsiřování.

### **Oxid uhličitý (skl. Efekt)**

Oxid uhličitý je součástí atmosféry. Je důležitý pro fotosyntézu rostlin a pro udržení průměrné teploty zemského povrchu  $15^\circ\text{C}$ . Není to škodlivina v pravém slova smyslu, ale jeden z více plynů, které na Zemi způsobují skleníkový efekt zvyšující teplotu na povrchu Země.  $\text{CO}_2$  v přírodě způsobuje sopečná činnost, bahenní plyny a lesní požáry. Lidé ho vytvářejí spalováním fosilních paliv. Největší podíl má energetický průmysl a doprava.

Snížit množství oxidu uhličitého vypouštěného do ovzduší ovlivníme spalováním paliva s méně uhlíku jako je zemní plyn, ropa a biomasa. Biomasa spotřebuje při fotosyntéze přesně tolik  $\text{CO}_2$ , kolik vznikne jejím následným spálením. Celkově se klade důraz na úspory energie, snížení spotřeby, zvýšením účinnosti apod.

## 2 Legislativní opatření

Řada povinností v oblasti ochrany životního prostředí vychází z předpisů EU. Jedna z nejdůležitějších je rámcová směrnice o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduším pro Evropu č. 2008/50/ES. Další důležitá je směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích. Další zájem je ochrana ozonové vrstvy Země a tu zajišťuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1005/2009 z r. 2010 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu. Dále se ozonovou vrstvou zabývá nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 842/2006 z r. 2006 o některých fluorovaných skleníkových plynech.

V České republice je základním předpisem zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší a zákon č. 73/2012 Sb. o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu a o fluorovaných skleníkových plynech. Obojí jsou doplňovány prováděcími předpisy jako např. nařízení vlády nebo Ministerstva životního prostředí.

V posledních letech se hodně zaměřujeme na naše špatné znečištěné ovzduší. Výzkumy říkají, že z větší části se na emisích podílí doprava a lokální topeniště. Tedy více než průmysl. Ministr životního prostředí Richard Brabec uvedl, že v České republice se na množství polévatého prachu podílejí domácí tepelné zdroje 38 %. Zejména se na tom podílí zastaralé uhelné kotle v domácnostech. Z velké části jsou na vině lidé, kteří přikládají do teplovodních kotlů vše, co hoří. Tedy zakázaná paliva a často i odpad. Tímto vznikají nejškodlivější emise. Skoro 90 % celkových emisí karcinogenního benzopyrenu a téměř 40 % celkových emisí prachových částic pochází z vytápění domácností. Spousta lidí si to stále neuvědomuje, a proto se jednotlivé země EU postupně snaží regulovat emise a účinnost kotlů pomocí legislativy.

Pro všechny země v EU je závazná norma EN 303-5:2012 - Kotle pro ústřední vytápění. Jednotlivé státy si mohou ale limity v norně zpřísnit – např. jako Německo a Rakousko, kde jsou v této problematice o krok napřed. Požadavky jsou určeny pro výrobce, dodavatele a také zároveň pro provozovatele kotlů. Rozdíl v jednotlivých zemích je způsob kontroly limitů, kde pouze Německo a Rakousko vyžadují pravidelnou kontrolu přímo u provozovatele. Loni, na začátku roku 2014, zákon o ochraně ovzduší zakázal prodávat kotle, které spadají do 1. a 2. emisní třídy. V budoucnu, konkrétně od r. 2017, nebude možné kotle spadající do těchto emisních tříd provozovat ani v domácnostech. Bude nutné dokládat revize kotle každé 2 roky. Pokud bude kontrolou zjištěno, že není provedena revize, nebo se

nepoužívá předepsané palivo, hrozí provozovateli pokuta. Potíž je v tom, že v České republice vytápí kotlem na pevná paliva přes půl miliónu domácností. Podle zákona o ochraně ovzduší si budou muset pořídit kotel nový. Pro podporu existuje několik ekologických programů: Zelená úsporám, Kotlíková dotace, v zahraničí potom RAL-Der blaue Engel – Německo, HETAS certification – Anglie, Flamme Verte – Francie.

## **2.1 Zákon o ochraně ovzduší**

Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. se zabývá sledováním, předcházením a korekcí znečišťování ovzduší. Stanovuje práva a povinnosti provozovatelů zdrojů znečišťování ovzduší. Popisuje nástroje pro snižování škodlivých látek, které znečišťují ovzduší. Určuje působnost správních orgánů a opatření k nápravám a sankce. Jeho úkolem je minimalizovat ohrožení lidského zdraví a zátěž pro životní prostředí. Zákon vytváří předpoklady pro obnovu složek životního prostředí a ekosystémů, které jsou zasaženy znečištěným ovzduším.

Pro výrobce a provozovatele kotlů má 2 základní sdělení. A to:

- Uvádění nových výrobků na trh
- Používání stávajících i nově zakoupených kotlů v domácnostech

Zákon upravuje a zpřísňuje postupně ve 2 krocích požadavky na to, jaké spalovací zařízení se budou moci legálně v České republice prodávat. Od 1. 1. 2014 bylo zakázáno uvádět na český trh kotle 1. a 2. emisní třídy. 1. 1. 2018 se nebudou moci prodávat kotle 3. třídy. Zákon nehovoří přímo o emisních třídách, ty jsou definovány až v normě ČSN EN 303-5. V zákoně o ochraně ovzduší se uvádějí emisní limity pro jednotlivé jmenovité příkony kotlů od 10 do 300 kW viz. Tab. č. 2.1. Sleduje se oxid uhelnatý, celkový organický uhlík vyjímaje methan a tuhé znečišťující látky. Vše se vztahuje k suchým spalinám, teplotě 273, 15 K a tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 10 nebo 13 %.



Dodávka Paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí		
			CO	TOC	TZL
			mg.m <sup>-3</sup>		
Ruční	Biologické	≤ 65	5000	150	150
		> 65 až 187	2500	100	150
		> 187 až 300	1200	100	150
	Fosilní	≤ 65	5000	150	125
		> 65 až 187	2500	100	125
		> 187 až 300	1200	100	125
Samočinná	Biologické	≤ 65	3000	100	150
		> 65 až 187	2500	80	150
		> 187 až 300	1200	80	150
	Fosilní	≤ 65	3000	100	125
		> 65 až 187	2500	80	125
		> 187 až 300	1200	80	125

Tab. č. 2.1 Minimální emisní požadavky na spalovací stacionární zdroj na pevná paliva o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně, který slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění [1]

Všechny domácnosti, které stále používají kotle na tuhá paliva 1. nebo 2. emisní třídy, budou mít ze zákona povinnost do 1. 9. 2022 tato zařízení nahradit nebo upravit tak, aby splňovala parametry minimálně 3. emisní třídy. Aby se tyto skutečnosti daly kontrolovat, uvádí zákon, jakým způsobem se budou dokládat revize kotlů.

Každý majitel kotle na tuhá paliva o příkonu 10 – 300 kW bude mít od 1. 1. 2017 povinnost předložit obecnímu úřadu revizní zprávu svého kotle. Tato zpráva nesmí být starší 2 let. Tyto revize kotlů budou provádět ze zákona servisní firmy proškolené výrobcem.

Zákon o ochraně ovzduší vysloveně zakazuje spalovat v kotli jiná paliva, než pro jaká je certifikovaný. Zároveň definuje zcela zakázaná paliva pro jakýkoliv kotel v domácnosti. Jsou to uhelné kaly, proplástky, lignit a hnědé energetické uhlí.

Pokud provozovatel kotle nepředloží výše uvedenou revizní zprávu, hrozí mu pokuta do 20 000 Kč. Pokud by revize po 1. 9. 2022 neprokázala, že jeho kotel splňuje min. 3. emisní třídu, pokuta je až 50 000 Kč. Při spalování zakázaného paliva může pokuta dosáhnout až 50 000 Kč. Stejně vysoká pokuta je i v případě spalování paliva, pro které není kotel certifikován.

## **2.2 Zákon o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu**

Zákon č. 73/2012 Sb., upravuje práva a povinnosti osob při ochraně ozonové vrstvy Země a klimatického systému Země před nepříznivými účinky regulovaných látek a fluorovaných skleníkových plynů. Zákon se také zabývá působnostmi správních úřadů. Tento zákon má prováděcí předpis vyhlášku č. 257/2012 Sb., která pojednává o předcházení emisí látek, které poškozují ozonovou vrstvu a fluorizaci skleníkových plynů.

## **2.3 Metodický pokyn k definici nízkoemisního spalovacího zdroje**

Metodický pokyn je vydán ministerstvem životního prostředí odboru ochrany ovzduší. Podřizují se mu orgány ochrany ovzduší jako např. Česká inspekce životního prostředí, krajské úřady a obecní úřady. Tento dokument upřesňuje požadavky na spalovací zdroje, které se při splnění daných kritérií mohou považovat za nízkoemisní. Je v něm stanoveno několik dalších požadavků na spalovací zdroje, které jsou nutné pro udělení finančních podpor v rámci OPŽP a národních programů SFŽP. Metodické pokyny jsou vydávány ve Věstníku ministerstva životního prostředí.

Sledované požadavky pro spalovací zdroje jsou:

- Emise vybraných znečišťujících látek
- Minimální energetická efektivnost

Parametry emisních limitů jsou stanoveny podle jmenovitého tepelného příkonu a druhu spalovaného paliva viz. Tab. č. 2.2. Udávají nejvyšší přípustné koncentrace dané látky ve spalínách za normálních stavových podmínek v suchém plynu a při daném referenčním obsahu kyslíku. Minimální energetická efektivnost je dána buď mírou účinnosti výroby tepla, tj. poměr množství tepla předaného spalovacím zdrojem teplonosné látce k příkonu zdroje za časovou jednotku. Nebo ztrátou citelným teplem spalín. Tyto dva požadavky mají být ověřeny oprávněnou osobou a musí být součástí žádosti o čerpání dotačních programů.

Sledovaný parametr	Referenční obsah kyslíku [%]	Jmenovitý tepelný příkon zdroje	
		≤ 0,05 MW	> 0,05 - 0,3 MW
CO [mg.m <sup>-3</sup> ] ([mg.kWh <sup>-1</sup> ])	10	2200 (4210)	1250 (2400)
TOC [mg.m <sup>-3</sup> ] ([mg.kWh <sup>-1</sup> ])	10	80 (160)	70 (140)
TZL [mg.m <sup>-3</sup> ] ([mg.kWh <sup>-1</sup> ])	10	70 (140)	70 (140)
Minimální garantovaná účinnost [%]		82	85
Přípustná komínová ztráta [%]		14	12

Tab. č. 2.2 Spalovací zdroje na tuhá paliva [2]

Údaje v tabulce se opět, stejně jako v zákoně o ochraně ovzduší, vztahují na normální stavové podmínky v suchém plynu. Celkový organický uhlík (TOC) znázorňuje souhrnnou koncentraci všech organických látek s výjimkou methanu vyjádřená jako celkový uhlík.

## 2.4 Emisní třídy

Emisní třída je přiřazována teplovodním kotlům dle výsledků spalovacích a jiných zkoušek dříve, než je výrobcí uvádějí na trh. Udává technologickou vyspělost jednotlivého typu kotle. Posuzuje jak tvorbu škodlivých emisí, tak účinnost, bezpečnost a efektivitu spalování. Emisní třída je po splnění podmínek dané třídy uvedena v technické dokumentaci kotle a na výrobním štítku. Přehled parametrů pro jednotlivé emisní třídy je uveden v Tab. č. 2.3.

Pro jednotlivé státy EU je platná norma EN 303-5 z r. 2012. Nahrazuje předchozí normu vydanou v r. 1999. Tato norma popisuje způsoby zkoušení kotlů do tepelného výkonu 500 kW, dříve do 300 kW, na pevná paliva, požadavky na bezpečnost, konstrukční materiály a základní emisní limity, které musí kotel při jmenovitém i sníženém výkonu splnit.

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon	Mezní hodnoty emisí								
			CO			OGC			prach		
			mg/m <sup>3</sup> při 10% O <sub>2</sub> <sup>a</sup>								
			kW	třída	třída	třída	třída	třída	třída	třída	třída
			3	4	5	3	4	5	3 <sup>b</sup>	4	5
ruční	biopaliva	≤ 50	5 000	1 200	700	150	50	30	150	75	60
		> 50 ≤ 150	2 500			100			150		
		> 150 ≤ 500	1 200			100			150		
	fosilní paliva	≤ 50	5 000			150			125		
		> 50 ≤ 150	2 500			100			125		
		> 150 ≤ 500	1 200			100			125		
samočinná	biopaliva	≤ 50	3 000	1 000	500	100	30	20	150	60	40
		> 50 ≤ 150	2 500			80			150		
		> 150 ≤ 500	1 200			80			150		
	fosilní paliva	≤ 50	3 000			100			125		
		> 50 ≤ 150	2 500			80			125		
		> 150 ≤ 500	1 200			80			125		

**POZNÁMKA 1** Hodnoty prachu v této tabulce vycházejí ze zkušenosti s gravimetrickou filtrační metodou. Použitá metoda musí být uvedena v protokolu o zkoušce. Emise pevných částic, měřeno podle této evropské normy, nezahrnuje kondenzovatelné organické látky, které mohou tvořit dodatečné pevné částice, když se spaliny smísí s okolním vzduchem. Hodnoty nejsou proto přímo srovnatelné s hodnotami naměřenými metodami s ředěním v tunelu, ani nemohou být přímo převedeny do koncentrací částic v okolním vzduchu.

**POZNÁMKA 2** Dodatečné zkušební metody a mezní hodnoty emisí, které platí v některých zemích, jsou uvedeny v odchylnách typu A v příloze C.

<sup>a</sup> Vztahuje se k suchým spalínám, 0 °C, 1 013 mbar.

<sup>b</sup> Kotle třídy 3 pro paliva typu E podle 1.2.1 nebo e-paliva podle 1.2.3 v této tabulce a označené klasifikaci E-paliva a e-paliva nemusí splňovat požadavky na emise prachu. Skutečná hodnota musí být uvedena v technické dokumentaci a nesmí překročit 200 mg/m<sup>3</sup> při 10% O<sub>2</sub>.

Tab. č. 2.3 Mezní hodnoty emisí pro jednotlivé emisní třídy [3]

## 2.5 Směrnice o ekodesignu 2009/125/ES

V polovině roku 2014 byly ustanoveny požadavky, které brzy vstoupí v platnost, na nutné parametry kotlů na tuhá paliva a interiérových topidel na tuhá paliva uváděné na trh Evropské unie. Týká se to kamen, krbových vložek apod. do 50 kW jmenovitého tepelného výkonu a kotlů na pevná paliva s jmenovitým výkonem do 120 kW. Směrnice nařizuje sjednocení minimálních parametrů na úroveň 5. emisní třídy. Kotle budou muset této úrovni dosáhnout k 1. 1. 2020 a lokální topidla 1. 1. 2022. V Tab. č. 2.4 je podrobný přehled i s daty, od kterých povinnost platí nebo bude platit.

Zahájení platnosti	Popis nařízení
1.1.2014	Zákaz prodeje kotlů 1. a 2. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 3., 4. a 5. emisní třídy).
1.1.2017	Povinnost předložit revizi kotle (včetně označení emisní třídy).
1.1.2018	Zákaz prodeje kotlů 3. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 4. a 5. emisní třídy).
1.1.2020	Zákaz prodeje kotlů 4. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 5. emisní třídy).
1.9.2022	Zákaz používání kotlů 1. a 2. emisní třídy (bez ohledu na to, kdy byly pořízeny).

Tab. č. 2.4 Shrnutí dat povinností při prodeji a provozování kotlů na tuhá paliva [4]

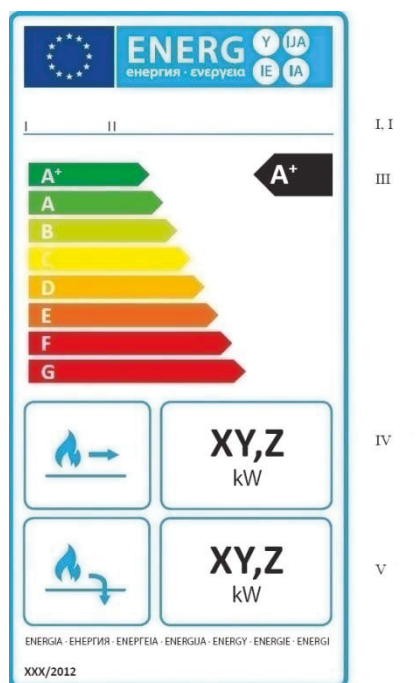
Oficiální zveřejnění nařízení EK k ekodesignu proběhlo koncem července t. r.. Až po jeho zveřejnění je možné zapisovat kotle na pevná paliva na seznam podporovaných zařízení vedené v závazném seznamu SFŽP pro účely dotací.

## 2.6 Směrnice o ekolabelingu 2010/30/EU

Jak už název napovídá, tato směrnice se zabývá značením. V našem případě jde o energetické štítky topidel uvedených ve směrnici o ekodesignu. Značení má uvádět informace o spotřebě energie na energetických štítcích na zdrojích pro vytápění. Už jsme zvyklí na podobné značení u spotřebičů jako je např. lednička, pračka apod. Stupnice energetické třídy je daná u každého typu spotřebiče trochu v jiném rozmezí. U kotlů a kamen by měl být rozsah od A++ po G. S tím, že spotřebiče, které budou splňovat 5. emisní třídu, budou zařazeny ve třídě od A++ do A. Závěrečné pokyny ke značení jsou ještě v řešení, objevuje se totiž problém u porovnávání různých druhů technologií u spalovacích zdrojů a různých paliv.

Pro spotřebiče na plyn, olej a elektrické kotle je nařízení značení platné už od letošního září, tj. od 26. 9. 2015. Zatímco pro kotle na pevná paliva není směrnice zatím finálně zpracována. Má se tak stát až v r. 2016 nebo 2017. Energetický štítek (obr. č. 2.1) má

sdělovat jen jeden parametr. Tím je energetická účinnost. Nedožíváme se z něj tedy množství vzniklých emisí a škodlivých látek jako např. CO<sub>2</sub>.



Obr. č. 2.1 Návrh energetického štítku pro interiérová topidla[5]

Význam římských číslic na štítku

- I – jméno dodavatele nebo obchodní značka
- II – identifikace modelu zařízení
- III – označení nejvyšší dosažené energetické třídy podle závazného výpočtu
- IV – symbol a hodnota teplovzdušného výkonu zařízení
- V – symbol a hodnota teplovodního výkonu zařízení s teplovodním výměníkem

## 2.7 Göteborgský protokol

Göteborgský protokol je jeden z osmi protokolů k rámcové Úmluvě o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států. Zakladatelé byly státy na Skandinávském poloostrově, jelikož byly hodně zasaženy emisemi oxidu siřičitého. V roce 2011 byl podepsán 28 stranami vč. Evropské unie. Pro zlepšení vodních a lesních ekosystémů se státy dohodly na snížení emisí oxidu síry, oxidů dusíku, k omezování acidifikace, eutrofizace a přízemního ozónu k úmluvě o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států.



### 3 Dotační programy

Přestože na znečišťování ovzduší lokálními topeništi je veřejnosti předkládán důraz už několik let a taktéž už běží několikátá vlna dotačních programů, stále je cca 350 000 domácností, které ještě svůj starý kotel nevyměnily. Zákon o ochraně ovzduší je ovšem platný a všichni se jím musíme a budeme muset řídit. K pořízení odpovídajících vytápěcích zařízení nám pomáhá v České republice několik podpůrných dotací. Kladou si za cíl pomoci nich vyměnit minimálně 80 tisíc kotlů do roku 2020 po celé České republice. Je to motivace státu a jednotlivých krajů, aby šli lidé do výměny starého kotle za moderní systém vytápění co nejdříve a co nejplošněji. Dotace podporují moderní nízkoemisní kotle na biomasu, uhlí kombinaci obojího, tepelná čerpadla, kotle na plyn nebo solární systémy.

Pokud se rozhodneme ekologický zdroj vytápění pořídit na vlastní náklady bez příspěvku z dotací, také neprohloupíme. Nákup takového zařízení se vyplatí svým provozem a získanou energií jak ovzduší, tak i naší peněžence. Z tohoto pohledu vidím dotační programy spíše jako motivační. Určitě je spousta lidí, kteří se rádi vyhnou úřednickým kolečkům a kvalitnější kotel si pořídí i bez příspěvku z nabízených dotací. Naopak odmítnout příspěvek si v dnešní době nemůže dovolit každý a většinou s díky přijímáme několikatisícový příspěvek na nákup modernějšího vytápěcího zařízení.

#### 3.1 Kotlíková dotace

Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s kraji spustí už po několikáté tzv. Kotlíkové dotace. Jde o Operační program životního prostředí. Peníze, které jsou k dispozici z evropských fondů, zde mohou nově využít přímo jednotliví občané. Nejprve si o ně musí zažádat kraje, následně je budou přidělovat občanům. Celkem jsou krajům k dispozici 3 miliardy korun. Kraje mohou začít s vyhlášením výzev pro občany už tento podzim tj. r. 2015. V Moravskoslezském kraji se bude jednat o 9. společnou výzvu k podávání žádostí o poskytnutí dotace ze Společného programu na podporu výměny kotlů.

Oproti předchozím výzvám budou platit některé změny. Zde uvádím pravidla, která jsou pro všechny kraje závazná. V ostatních oblastech mají kraje volnou ruku a mohou si samy nastavovat podmínky pro své občany. Například na jaké vytápěcí zařízení budou přispívat apod.

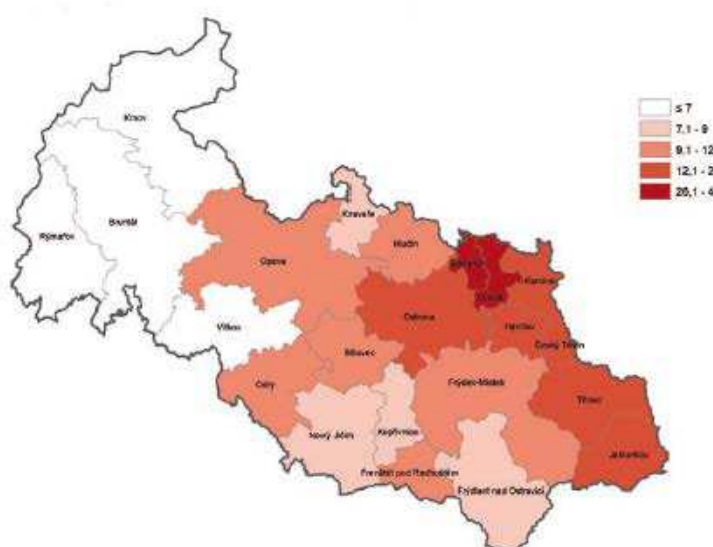
- Výměny kotlů mohou být realizované pouze v rodinných domech
- Všechny tepelné zdroje musí splňovat směrnici o Ekodesignu viz. kapitola 2.5.
- Dům musí splňovat minimálně energetickou třídu C, jinak je nutno realizovat některá tzv. mikro-energetická opatření viz. Tab. č. 3.1
- Veškeré tepelné zdroje mohou instalovat pouze kvalifikovaní topenáři
- Výše dotace je od 70 do 85 % z maximální částky 150 000 Kč tj. 127 500 Kč
- Uznávají se náklady spojené s nákupem a instalací od 15. 7. 2015
- Mezi uznatelné náklady patří výměna zdroje tepla, topné soustavy, jejich instalace, související stavební práce, projektové dokumentace, náklady na mikro-energetická opatření, energetický specialista, úpravy spalinových cest a propojení přípojky z HUP
- Podporovaná zařízení budou uvedena v závazném seznamu vedeném SFŽP, do kterého lze nově zapisovat i tepelná čerpadla a kondenzační kotle na plyn

Číslo opatření	Typ opatření
1	Zateplení střechy nebo půdních prostor
2	Zateplení stropu sklepních prostor nebo podlahy
3	Dílčí zateplení dalších konstrukcí (např. severní fasáda apod.)
4	Oprava fasády, např. prasklin a dalších poruch fasády – eliminace tepelných mostů
5	Oddělení vytápěného prostoru rodinného domu od venkovního (např. zádveří)
6	Dílčí výměna oken
7	Výměna vstupních a balkonových dveří
8	Instalace těsnění oken a dveří, dodatečná montáž prahů vstupních dveří
9	Výměna zasklení starších oken za izolační dvojskla

Tab. č. 3.1 Energetická opatření pro zvýšení energetické třídy budovy [13]

Na krajském úřadě bude pro schválení dotace nutné doložit mj. průkaz energetické náročnosti budovy. Další dokumenty, které jsou ovšem shodné s předchozími lety, jsou fotodokumentace stávajícího kotle, komínu, údaje o kotli, souhlasy vlastníků nemovitosti i pozemku plus další přílohy definovány jednotlivými kraji.

Kotle na uhlí, která nespalují další paliva, budou podporovány nejnižší částkou a to 70 % z celkových nákladů. Oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší bude přičítáno 5 % navíc pro žadatele. Mezi tyto oblasti patří i Moravskoslezský kraj, jak je vidět na obrázku č. 3.1. V roce 2013, kdy jsem využila Kotlíkové dotace já, bylo propláceno max. 40 tis. Kč. Nyní je to tedy o 72,5 tis. Kč více. Je ale nutné vzít v potaz, že tenkrát jsem nemusela nechat dělat energetický štítek budovy a tím se ušetřily náklady na auditora, což může uspořit přibližně 20 tis. Kč. [13]



Obr. č. 3.1 Počet domácností vytápěných tuhými palivy na km<sup>2</sup> r. 2011 [16]

### 3.2 Zelená úsporám

Další podpůrný program Ministerstva životního prostředí, tentokrát ve spolupráci se Státním fondem životního prostředí České republiky, je program s názvem Nová zelená úsporám. Dříve se program jmenoval jen Zelená úsporám. To bylo v letech 2009 – 2012. V roce 2013 se přejmenoval na Nová zelená úsporám a v současné době je opět Nová zelená

úsporám, která probíhá v letech 2014 – 2020. Program je zaměřený na úspory energie a obnovitelné zdroje energie v rodinných a nově i bytových domech.

## 2. výzva Nové zelené úsporám pro rodinné domy

Letos, tj. v r. 2015, byla vyhlášena 2. výzva Nové zelené úsporám pro rodinné domy. Žádosti mohli občané podávat od 15. 5. 2015. Příjem žádostí byl ukončen 15. 7. 2015 a to předčasně vyčerpáním stanovené alokace. Ta byla 600 mil. korun. Žádat mohli vlastníci domů na opatření ke snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů, stavebníci na výstavbu rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností, provozovatelé neekologických zdrojů tepla na výměnu zdrojů k vytápění a na instalaci solárních termických systémů. Podporu lze čerpat i na zpracování odborného posudku a technický dozor. Celková výše podpory je max. 50 % doložených výdajů. Celková max. vyplácená částka je 5 mil. korun.

## 1. výzva Nové zelené úsporám pro bytové domy

Loni, tj. v r. 2014, se mohlo žádat o dotaci jen na domy rodinné. Letos jsou do Nové zelené úsporám přidány bytové domy, ovšem pouze nemovitosti, které se nacházejí na území hlavního města Prahy. Bytovým domem se rozumí stavba pro bydlení, která má 4 a více bytových jednotek. Nesmí se jednat o ubytovny, kanceláře apod. Žádat příspěvek lze na opatření snižování energetické náročnosti stávajících bytových domů, na výměnu neekologických zdrojů tepla na vytápění a na instalaci solárních termických panelů. Žádosti lze podávat od 15. 5. 2015 až do 31. 10. 2015. Tato výzva zatím vyčerpána není. Max. výše dotace je 20 % nákladů max. 10 mil. korun na žadatele.

U obou výzev mohou žádat o příspěvek fyzické i právnické osoby. Dotací na zateplení se rozumí výměna oken a dveří, zateplení obvodových stěn, střechy, stropu a podlahy. Efektivní využití zdrojů energie zahrnuje výměnu starých kotlů spalujících uhlí, koks, mazut, uhelné brikety apod. za kotle na biomasu, kondenzační plynový kotel nebo za tepelné čerpadlo. V případě vytápění elektřinou, výměnu za tepelné čerpadlo. Instalaci solárních systémů a na instalaci systémů s rekuperací vzduchu a tím získávání tepla z odpadního vzduchu. V případě získání podpory je příjemce povinen provedené úpravy a výměny užívat a provozovat min. po dobu 10 let.

### 3.3 Program Čistá energie Praha

Pro občany, kteří vlastní nebo užívají byt na území hl. města Prahy, je určen Program Čistá energie Praha 2015. Jedná se o dotační program, který zaštiťuje přímo hl. město Praha a je financován z rozpočtu města. Na příspěvky mají letos vyhrazeno 18 mil. korun. Program je motivací k výměně topných těles a systémů za topné soustavy využívající ušlechtilá paliva nebo obnovitelné zdroje energie. Žadatelé musí mezi 1. 9. 2014 a 30. 9. 2015 zprovoznit v bytě ekologický zdroj tepla.

Dotace se vztahují na výměnu neekologického kotle za kotel na plyn nebo elektřinu, popř. na centrální zásobování teplem, na tepelná čerpadla. Pokud byt již provozuje ekologické vytápění, může dotaci využít na vytápěcí systém na obnovitelné zdroje energie vyjma dřeva, pilin apod. Jestliže se v bytě vytápí elektrickými nebo plynovými přímotopy, dotace může být na centrální typ vytápění v rámci bytu, např. elektrický kotel, plynový kotel... Příspěvek může být využit na rekonstrukci plynových kotlů pro zvýšení účinnosti, na ohřev vody a přitápění solárními kolektory.

Vše bude podpořeno příspěvkem pouze v případě, že na zařízení, která budou podléhat výměně, nebyly v posledních 10 letech čerpány jiné dotace. V novostavbách může být příspěvek pouze na obnovitelné zdroje energie vyjma dřeva a jeho produktů, nikoliv na plyn, elektřinu a centrální zásobování teplem. Z centrálního vytápění nelze přejít na jiný způsob vytápění. [14]

č.	Investiční akce		Maximální výše dotace	Omezení z pohledu nákladů
A	Přeměna neekologického vytápění na ekologické	zdroj pro 1- 4 jednotek	25.000 Kč	max.50 % doložených nákladů
		zdroj pro 5 a více jednotek	200.000 Kč	max. 30 % doložených nákladů
B	Přeměna lokálních topidel ve prospěch vytápění centrálního typu	zdroj pro 1- 4 jednotek	25.000 Kč	max.50 % doložených nákladů
		zdroj pro 5 a více jednotek	150.000 Kč	
C	Rekonstrukce plynového vytápění ve prospěch zdrojů s vyšší účinnosti	zdroj pro 1- 4 jednotek	20.000 Kč	max.50 % doložených nákladů
		zdroj pro 5 a více jednotek	100.000 Kč	max.30 % doložených nákladů
D	Instalace tepelných čerpadel	typ země/voda, voda/voda	60.000 Kč	max.50 % doložených nákladů
		typ vzduch/Voda, vzduch/Vzduch	40.000 Kč	max.50 % doložených nákladů
E	Instalace zdrojů využívajících dřevo a dřevní palivové produkty		30.000 Kč	max.50 % doložených nákladů
F	Instalace solárních kolektorů k ohřevu vody a přitápění		5.000 Kč / 1 m <sup>2</sup> (absorpční plochy) max. 40.000 Kč na jeden systém	max.50 % doložených nákladů

Tab. č. 3.2 Výše konkrétních dotací [14]

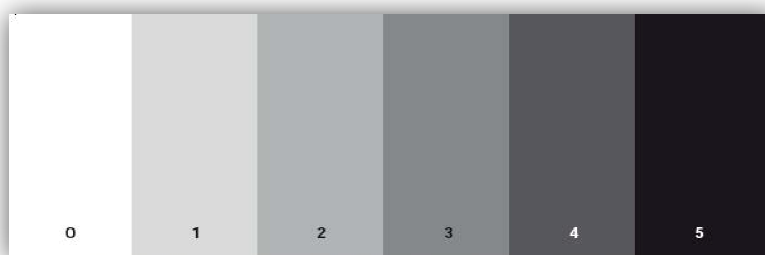
## 4 Metoda měření tmavosti kouře

Převážně my, kteří žijeme na vesnicích, se setkáváme v topné sezóně s nepříjemným obtěžováním ze strany sousedů kouřem z jejich komínu. Přestože dle naší legislativy se musí i fyzické osoby chovat tak, aby dodržovaly určitá pravidla při vytápění, neexistuje možnost, aby jim nějaký orgán vstoupil do kotelny a kontroloval jejich lokální topeniště. V zahraničí jsou tyto kontroly běžné a neukázněným topičům hrozí vysoké pokuty.

Obecní úřady mohou zvenčí domu kontrolovat přípustnou tmavost kouře. Slouží jim k tomu metoda měření tmavosti kouře podle Ringelmannova nebo Bacharachova. Nedodržení přípustné tmavosti je přestupkem podle § 23 Zákona o ochraně ovzduší viz. Kapitola č. 2.1. Metoda měření tmavosti kouře je jedinná možnost pro kontrolu lokálních topenišť a jejich způsobu provozování v rodinných domech, která je uznatelným podkladem k projednávání přestupku. Ten se dá, v případě že se jedná o ojedinělý případ, vyřešit nařízením změnou provozu kotle jako např. změnou paliva, vyčištěním kotle či spalinových cest apod. Pokud by se jednalo o opakovanou situaci, může být uložena pokuta. A to až do výše 50 tis. korun. Ještě než popíšu přímo jednu z metod, ráda bych zmínila, že jsem pro, aby tuto možnost obce využívaly. Neukáznění topiči si myslí, z mých vlastních zkušeností, že jejich jednání je totiž nepostihnutelné. [16]

### Metodologie měření tmavosti kouře podle Ringelmannova

Nejvyšší přípustná tmavost kouře je optická vlastnost, kterou kouř vyvolává pohlcováním světla v kouřové vlečce vystupující z komína. U Ringelmannovy metody se porovnává tmavost kouřové vlečky s odpovídajícím stupněm Ringelmannovy stupnice (obr. č.4.1) pouhým okem. Tmavost zbarvení vyjadřuje přibližnou koncentraci sazí, popílku a dalších tuhých částic.



Obr. č. 4.1 Ringelmannova stupnice na měření tmavosti kouře [16]

Pozorovatel ve vzdálenosti 150 až 400 m od komínu porovnává stupnici s kouřovou vlečkou v místě výstupu kouře z koruny komínu. Směr vlečky je, pokud možno, v pravém úhlu k pozorovateli. Nesmí proti němu svítit slunce, být večer, stát proti zástavbě nebo terénu apod. Kouřová vlečka má být na pozadí rozptýleného světla během dne. Tím určí stupeň tmavosti kouře. Stanovení tmavosti se provádí opakovaně co 5 minut. Délka trvání jednoho odečtu má trvat 5 vteřin a provedeno má být 30 odečtů, ze kterých se vyhodnotí jako průměrná tmavost kouře. Přípustná tmavost je do 2. Stupně Ringelmannovy stupnice. Jakákoliv vyšší už je nad přípustnou mez a je možné (Obecními úřady) zahájit řízení. [16]



## 5 Vlastní spalovací zařízení

### 5.1 Automatické kotle na spalování tuhých paliv

Automatické kotle na tuhá paliva jsou moderní spalovací zařízení, která nabízí řadu výhod v porovnání se starými kotli. Moderním trendem je snižování nákladů a zvyšování pohodlí obsluhy. Tím je myšleno zejména co nejvíce snížit časovou náročnost obsluhy jako je doplňování paliva, čištění spalinových cest, regulace teploty, výkonu apod. To je u automatických kotlů sníženo opravdu na nezbytné minimum. Provozovatel takového kotle ocení, jak snížení nákladů na topnou sezónu, tak i čas, který ušetří obsluhou automatického kotle. [16]

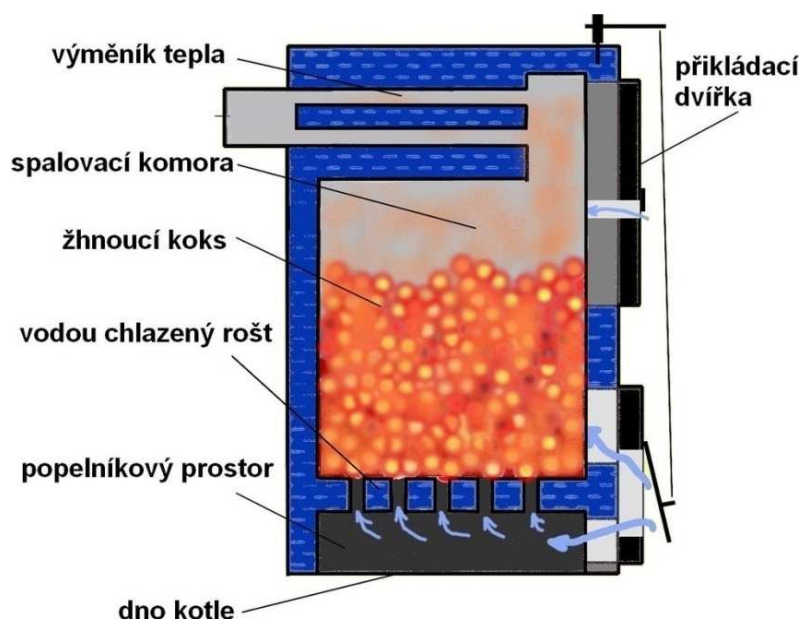
#### Výhody automatického kotle

- Pevná paliva jsou cenově dostupná
- Téměř dokonalé spalování, minimální produkce emisí
- Vysoká účinnost, ekonomický provoz
- Výborná regulovatelnost výkonu dle okamžitého požadavku na teplo
- Provoz je téměř automatický, obsluhu vyžadují jen jednou za 4 – 8 dní
- Nízká emisní zátěž pro okolí

#### Nevýhody

- Vyšší pořizovací náklady
- Nutné skladovací prostory, zajištění zastřešeného místa, udržení vlhkosti, ...
- Nutná manipulace s palivem – nakládky, doprava, složení, rovnání, ...

Automatické kotle se vyrábějí ocelové nebo litinové. Na spalování při vysokých teplotách s přímým kontaktem žhavé vrstvy a plamene s výměníkem kotle se používá litina. Je to odolnější materiál než běžná ocel a vydrží dlouhodobé působení vysokých teplot. Paliva, pro která jsou vyráběny litinové kotle, jsou převážně koks a černé uhlí. K jejich vyhoření je zapotřebí ocelový rošt, který bývá často chlazen vodou. Výměníky jsou často s vodorovnými průduchy pro spaliny (obr. č. 5.1). Nevýhoda této konstrukce je usedání popílku na vodorovných plochách výměníku a tedy brzké zanášení a zhoršení prostupu tepla ze strany spalin do vody. Budoucí uživatel tedy musí počítat s častějším čištěním tělesa výměníku než u ocelového kotle se svislými spalinovými cestami. Staré kotle s ručním přikládáním byly často z litiny a využívají se na přestavby na kotle automatické. Tyto přestavbové sady dodávají často přímo výrobci kotlů. Nejsou však podporovány dotacemi.



Obr. č. 5.1 Řez ocelovým kotlem



Obr. č. 5.2 Řez litinovým kotlem [15]

Ocel se používá u kotlů na hnědé uhlí a na dřevo, popř. na biomasu apod. (obr. č. 5.2). Tato paliva hoří při spalování delším plamenem. Konstrukčně bývají spalovací komory na hnědé uhlí větší. Pomocí žáruvzdorných vyzdívek a usměrňovačů plamene se cíleně odklání kontakt plamene od stěny výměníku. Na malých roštích používaných u ocelových kotlů hoří palivo na malé ploše a nepřichází vůbec do kontaktu se stěnami výměníku. Nehrozí tedy propálení pláště. Menší odolnost oceli je tedy vyvážena konstrukčním návrhem kotle a její nižší cenou. Výměníky z oceli se dělají se svislými průduchy a usazování TZL je tedy mnohonásobně nižší než na vodorovných plochách litinových výměníků. Čištění není tedy nutné provádět tak často jako u litinového kotle. [15]

## 5.2 Automatický kotel CosmoTHERM U25

My máme kotel CosmoTHERM U25 od firmy BENEKOVterm s. r. o. vyrobený v r. 2013 v 3. emisní třídě. Výrobce je ryze česká firma se sídlem v Horním Benešově. Zkoumá, vyvíjí a vyrábí spalovací zařízení na uhlí a biomasu. Od r. 1998 se specializují na automatické kotle. V současnosti vyrábějí automatické kotle na spalování uhlí, dřevních pelet, dřevní štěpky, obilí a kusového dřeva. U uhelných kotlů byli první v republice, kteří měli certifikovaný kotel ve 4. emisní třídě. Jednalo se právě o mnou zkoumaný CosmoTHERM U25. Postupem času všechny jejich uhelné kotle splnily podmínky 4. emisní třídy a nyní jsou jediní v republice, kteří nabízejí kotel na spalování uhlí i v 5. emisní třídě. Dále se zabývají přestavbami litinových kotlů na automatické. Zařízení, která firma

BENEKOVterm s. r. o. vyrábí, jsou využívána v rodinných domech, školách, firmách a podobných objektech ve 23 evropských státech.

Kotel řady U CosmoTHERM U25 byl prvním kotlem, který se v České republice začal prodávat v 4. emisní třídě. Bohužel, my jsme kotel zakoupili pár měsíců před tím, než byl v 4. emisní třídě uveden na trh. Některé parametry, které budu ke kotli uvádět, proto nemusí souhlasit s údaji, které výrobce uvádí k současnému kotli CosmoTHERM U25.



Obr. č. 5.3 Kotel CosmoTHERM U25 kotel CosmoTHERM U25 na kterém jsem prováděla měření

Kotel CosmoTHERM U25 je určen pro vytápění rodinných domů, chat, kancelářských budov, malých provozoven a jiných objektů, jejichž náročnost na tepelný výkon nepřesahuje 20 kW. Díky zásobníku, velikosti popelníku a elektronické regulaci umožňuje několikadenní bezobslužný provoz. Předepsané palivo, na které je kotel certifikován, je hnědé uhlí viz. tabulka č. 5.1.. Výrobce upozorňuje, že nedodržení předepsaného paliva může výrazně negativně ovlivnit emisní parametry a výkon kotle.

Předepsané palivo		
Hnědé uhlí – ořech 2		
Zrnitost	[mm]	10 - 25
Teplota tání popela	[°C]	min. 1500
Obsah bitumenů	[%]	max. 3,5
Obsah vody	[%]	max. 35
Obsah popele	[%]	max. 12
Výhřevnost	[MJ.kg-1]	min. 17
Obsah síry	[%]	max. 0,9
Měrná sirnatost	[g/MJ]	max. 0,5
Obsah prachu	[%]	max. 10

Tab. č. 5.1 Předepsané vlastnosti paliva pro kotel CosmoTHERM U25

### Technické parametry kotle

V tabulkách č. 5.2 a č. 5.3 jsou uvedené konstrukční a technické parametry kotle CosmoTHERM U25. Dále pak v tab. č. 5.4 uvádím tepelně technické parametry při spalování předepsaného paliva. Kotel je vyroben dle normy ČSN EN 305-5.

Hmotnost	kg	364
Obsah vodního prostoru	dm <sup>3</sup>	112
Průměr kouřovodu	mm	145
Teplosměnná plocha kotle	m <sup>2</sup>	2,04
Kapacita zásobníku paliva	dm <sup>3</sup>	235
Rozměry kotle: š x h x v	mm	1343 x 930 x 1528
Kapacita zásobníku paliva	dm <sup>3</sup>	280
Rozměr plnicího otvoru zásobníku paliva	mm	624 x 291

Tab. č. 5.2 Rozměry kotle

Třída kotle dle ČSN EN 303-5		3
Pracovní přetlak vody	bar (kPa)	2 (200)
Zkušební přetlak vody	bar (kPa)	4,0 (400)
Doporuč. provoz. tepl. topné vody	°C	65 - 80
Nejmenší teplota vstupní vody	°C	60
Hydraulická ztráta kotle $\Delta T = 10$ K	mbar	4,1
Hydraulická ztráta kotle $\Delta T = 20$ K	mbar	1,9
Hladina hluku	dB	60 +- 3
Komínový tah	mbar	0,15 – 0,20
Max. el. příkon (ventilátor + pohon)	W	78
Elektrické krytí		IP 20

Tab. č. 5.3 Technické parametry kotle

Jmenovitý výkon	kW	20
Regulovatelný výkon	kW	6-20
Spotřeba paliva	kg/h	1,2 – 4
Doba hoření při jmenovitém výkonu a plném zásobníku	h	42
Teplota spalin při jmenovitém výkonu	°C	140
Teplota spalin při min. výkonu	°C	110
Účinnost	%	86,5
Hmotnostní průtok spalin na výstupu při jmenovitém výkonu	kg/s	0,021
Hmotnostní průtok spalin na výstupu při min. výkonu	kg/s	0,004

Tab. č. 5.4 Tepelně technické parametry kotle

### Technicko–konstrukční údaje

Kotel je konstruován z ocelových kotlových plechů a trubek. Tvoří jej několik základních celků. Vlastní kotel je tvořen kotlovým tělesem a hořákem. K hořáku je přiváděno palivo šnekovým podavačem, na jehož začátku ústí násypka paliva. Šnekový dopravník je poháněný pohonem. Pod spalovací komorou je popelníková zásuvka, kterou stačí vysypávat 1 – 2x týdně. Kotlové těleso je kryto plechovou kapotáží s izolací

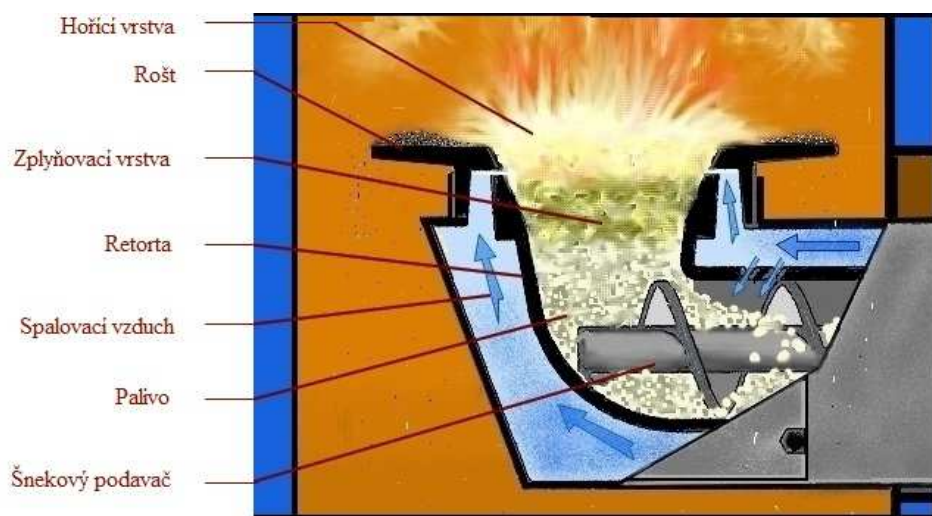
z minerální vlny, která snižuje ztráty sdílením tepla do okolí a zároveň chrání uživatele před popálením. Řez kotlem je zobrazen na obr. č. 5.4



Obr. č. 5.4 Řez kotlem CosmoTHERM U25

Hořák, který je u kotle CosmoTHERM U25 použit, je konstruován na principu spodního přikládání paliva. Tzv. retortový hořák. (Obr. č.5.5 a č.5.6) Pro výrobu byly použity kvalitní litiny. Palivo je podáváno do kolena hořáku tzv. retorty, kde je vytlačováno vzhůru na kruhový rošt. Retorta je umístěna ve směšovači, do kterého je přiváděn vzduch ventilátorem umístěným pod zásobníkem paliva. Ventilátor má regulovatelné otáčky a tím upravují množství spalovacího vzduchu, který zde plní zároveň 2 funkce. 1. Přivádí kyslík potřebný ke spalovacímu procesu. 2. Zamezuje prostupu kouře z retorty zpět do zásobníku paliva.





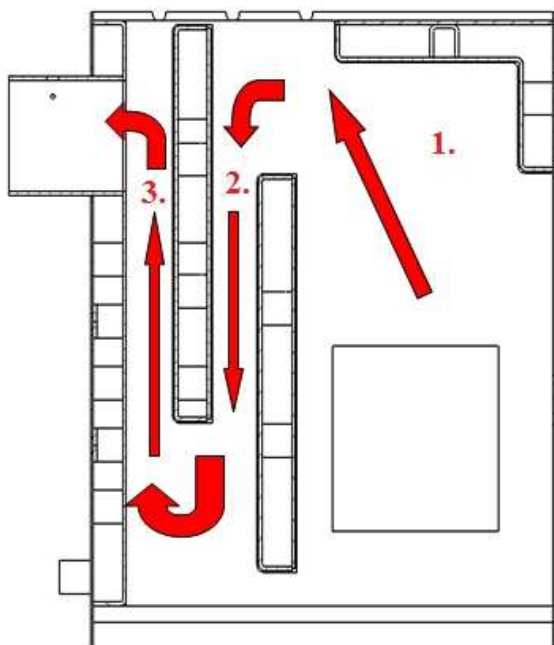
Obr. č. 5.5 Schéma retortového hořáku



Obr. č. 5.6 Pohled do retortového hořáku CosmoTHERM U25

Těleso výměníku (obr. č. 5.8) je vyrobeno celé z plechu o tloušťce 5 mm viz. výkres č. 1-001. Benekov využívá technologie třítahového trubkového výměníku (Obr. č. 5.7). Zde dochází k předávání tepla ze strany spalin do topné vody. Třítahové výměníky umožňují dosáhnout až 96 % účinnost spalování a cca 92 % účinnost kotle. Jejich čištění je snadné.

Doporučený interval čištění teplosměnných ploch výměníků od nánosů popílku je 5 až 6 týdnů.



Obr. č. 5.7 Schéma řezu třítahovým vertikálním výměníkem



Obr. č. 5.8 Model teplovodního výměníku CosmoTHERM U25

### Řídící jednotka kotle

Regulátor kotle BENEKOV EM 250 (obr. č. 5.9) je jedna z variant, se kterými se můžeme setkat na kotlích fy Benekov. Já jsem prováděla měření na kotli, na kterém tuto řídící jednotku mám. Zajišťuje mnoho funkcí. Například stabilizuje teplotu kotle. Také stabilizuje požadovanou teplotu v zásobníku na teplou užitkovou vodu (TUV). Může spolupracovat s pokojovým termostatem a tím udržuje komfortní teplotu ve vytápěných místnostech.





Obr. č. 5.9 Řídící jednotka EM250

Regulátor mi umožňuje nastavit požadované teploty v kotli i v zásobníku TUV. Volím si nastavení chodu a prodlevy podavače paliva, výkon ventilátoru a tím nastavuji přibližně výkon kotle. Možnost přepnutí do ručního režimu z automatického slouží mmj. pro zátop v kotli.

Ve chvíli, kdy kotel nahřeje vodu na požadovanou teplotu, regulátor přepne kotel do režimu útlumu. V něm se zpomalí podávání paliva a výkon ventilátoru tak, aby nevyhaslo palivo v hořáku a zároveň aby docházelo k odvádění spalin a plynů do komínu.

Řídící jednotka může

- Ohřívat vodu na vytápění + TUV
- Jen ohřívat vodu na vytápění
- Jen ohřívat vodu na TUV

V době, kdy jsem prováděla měření byly hodnoty na řídící jednotce nastaveny viz. Tab. č. 10.1 Nastavení automatického chodu kotle a bylo zvoleno jen nahřívání topné vody.

## 6 Metody odlučování TZL

Jak jsem psala v kapitole o škodlivinách, tuhé znečišťující látky jsou hlavním zdrojem emisí. Vznikají při spalovacích procesech, při úpravě paliva, např. při mletí a drcení uhlí. Zaměřím se tedy na snížení TZL i ve svém kotli, protože, jak jsem uvedla v tab. č. 2.3, pro dosažení kotle na 4. emisní třídu je tato hodnota nejzásadnější. Abychom emise TZL snížili, existuje několik metod, které se v energetice využívají. Jejich volba závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech viz. kapitola č. 1.3 Škodliviny.

Odloučení TZL můžeme docílit dvěma způsoby:

- Primárním způsobem, který znamená úpravu spalovací komory, spalovacího procesu apod. tak, aby se úlet pevných částic snížil na co nejmenší možnou míru.
- Sekundárním způsobem, což znamená použití odlučovače, který již vzniklé TZL mechanicky odloučí od toku spalin, které vychází do ovzduší.

### 6.1 Základní odlučovací principy [9]

Princip odlučovačů je v odloučení TZL z proudící vzdušniny tak, aby bylo dosaženo maximálně největší hodnoty emisního limitu.

#### Gravitační

Princip funguje působením gravitační síly na částici v proudu spalin. Zpomalením proudění na hodnotu pádové rychlosti částice dosáhne k pádu částice směrem dolů. Tento princip se dá použít jen pro velké částice (více jak 100  $\mu\text{m}$ ) a u malých rychlostí plynu.

#### Setrvačný

Setrvačný princip využívá setrvačnosti tuhých částic. Uplatňuje se změna směru proudění nebo umístění vhodně tvarované překážky, kterou musí spaliny obtéci..

#### Odstředivý

Jedná se také o setrvačný princip. Tento je využíván při proudění spalin ve válcových a kuželových komorách.

### Elektrický

Působením elektrické síly na nabité částice s nábojem v elektrickém poli se částice prachu usazují na usazovacích elektrodách. Částice se musejí nabíjet, aby měly monopolární náboj. To se děje nabíjením po siločarách nebo nabíjením difuzí.

### Difúzní

Tento princip odlučování se používá k odlučování jemných částic ve vláknité vrstvě při malých rychlostech proudění. Koncentruje částice TZL na povrchu vlákniny a snižuje koncentraci částic ve spalínách.

### Intercepční

Jedná se o přímé zachycení TZL pomocí průchodu spalín vláknitou nebo zrnitou vrstvou.

### Sítový

Tento princip se uplatňuje také u průchodu plynu vláknitou nebo zrnitou vrstvou. Funguje i na principu průchodu už zachycených částic, tzv. filtračním koláčem.

## 6.2 Základní třídění odlučovačů

### Suché mechanické

- Gravitační odlučovače
- Setrvačné odlučovače
- Cyklóny
- Rotační odlučovače

Používají se jako první stupeň odloučení, nemají moc vysokou účinnost. Mají jednoduchou konstrukci, nepotřebují další zdroj energie, jejich pořizovací náklady jsou nízké, stejně i náklady na provoz a údržbu. Smějí pracovat s vysokými teplotami spalín. Je nutné u nich používat ventilátor, mají totiž vysokou tlakovou ztrátu.

### Mokrý mechanický

- Sprchové
- Setrvačné
- Vírové
- Pěnové
- Proudové
- Rotační

Fungují na setrvačném a odstředivém principu. Zachycené látky se odlučují do kapaliny. K odloučení dochází čtyřmi způsoby. Vlivem setrvačného principu se částice odlučují na kapičkách kapaliny, na smáčeném povrchu obtékaných těles, na hladině kapaliny a na povrchu plynových bublin při průchodu kapalinou.

Mají lepší účinnost než suché odlučovače, zachycují jemnější frakce, jsou vhodné pro lepidlo a abrazivní částice, mohou odlučovat zároveň pevné i plynné částice. Jejich konstrukce je složitější. Je potřeba zavést kalové hospodářství, v zimě zamrzají – nejsou vhodné ven. Jejich obsluha je náročná.

### Filtry

Filtrace je odlučovací proces, ve kterém se zachycované částice odlučují ve filtrační vrstvě. Ta je tvořena vláknitou nebo zrnitou či porézní hmotou. Částice, které jsou větší než otvory v tkanině, houbě apod., se zachytí na jejím povrchu. Silný nános těchto částic tvoří tzv. filtrační koláč. I ten samotný tvoří filtrační vrstvu. Při rychlém zanášení se musí vrstva prachu odstraňovat. Procesu říkáme tzv. regenerace filtru. Může probíhat tlakovým rázem vzduchu, otřepáváním filtru nebo se dá využít zpětný tok vyčištěného plynu.

Základní vlastnosti jednotlivých filtrů jsou jemnost, struktura, pórovitost, pevnost, tažnost, tvárnost, prodyšnost, odolnost proti chemickým a teplotním vlivům, odlučivost, jímavost a měrné zatížení filtrační tkaniny.

### Elektrické odlučovače

- Komorové horizontální
- Trubkové vertikální

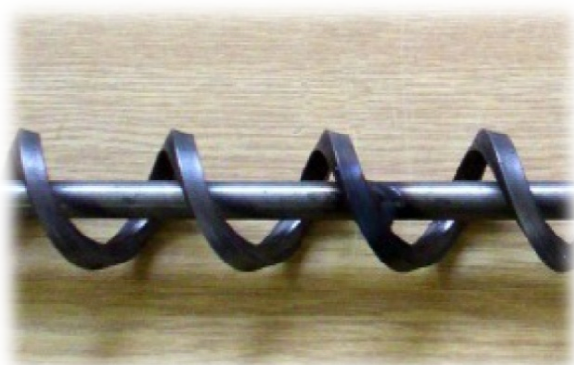
U elektrických odlučovačů využíváme elektrické síly k odstranění tuhých částic z nosného plynu. Při vstupu do prostoru odlučovače se nosný plyn zpomalí a tuhé částice se mezi nabíjecími a usazovacími elektrodami nabíjí. Za působení silného elektrického pole se nabitě částice odvedou k usazovacím elektrodám. Ty jsou v pravidelných intervalech mechanicky oklepávány.

Mohou být mokré a suché – záleží na způsobu čištění usazovacích elektrod. Mají vysokou odlučivost a dokážou zachytit i velmi jemné částice. Mají nízkou tlakovou ztrátu, mohou pracovat při vysokých teplotách plynu, mají nízkou spotřebu energie. Jejich pořizovací náklady jsou vysoké, potřebují k provozu velký prostor a jsou náročné na obsluhu a citlivé na změny ve složení prachu.

## 7 Výběr vhodné metody pro snížení TZL

V této práci se zabývám odloučením tuhých látek ze spalín o hodnotu, která by můj kotel posunula do 4. emisní třídy. Jedná se tedy o možnosti sekundárních odlučovacích metod. Jak jsem už uvedla, náš typ kotle fy BENEKOVterm s. r. o. Cosmoterm U25 se v současné době na trhu nabízí už zcertifikován na 4. emisní třídu. Na výstavě o vytápění a úspoře energií jsem se u stánku výrobce zajímala, jakými úpravami kotel prošel, aby získal 4. emisní třídu místo 3., ve které jsme ho zakoupili my.

Bylo mi sděleno, že hlavní konstrukční úpravou, je umístění spalínových ekonomizérů do výměníku. Dále usměrnění plamene a proudu spalín pomocí šamotových vložek trojúhelníkového průřezu. Pánové na výstavě neměli ekonomizéry s sebou a na stránkách výrobce se o nich detailněji nezmiňují, začala jsem tedy zjišťovat, jak je to řešeno u jiných kotlů ostatních výrobců. Uvádím několik obrázků od konkurenčních firem. (Obr.č. 7.1 – 7.3)



Obr. č. 7.1 Závěsný turbulátor Verner



Obr. č. 7.2 Závěsný turbulátor SmartFire



Obr. č. 7.3 Lamelové turbulátory Viadrus

## 7.1 Turbulátory

Do výměníku mého kotle by šly také umístit svisle nějaké typy turbulátorů. Jak je vidět na obr. č. 5.8, průduchy spalin mám kruhového a osmihranného průřezu. Chtěla jsem tedy zvolit jeden typ spirálového ekonomizéru, který bych velikostně přizpůsobila rozměrům v trubkovnici, tj. i v osmihranných trubkách bych měla spirálový turbulátor. Zvažovala jsem návrh ekonomizéru a sháněla firmu, kde by mi je mohli případně vyrobit. Nakonec jsem se rozhodla zajet přímo do Horního Benešova do Benekovu.

Po oslovení přímo majitele fy BENEKOVterm s. r. o jsem po dohodě získala k zapůjčení prototypy turbulátorů, které se dají v mém kotli Cosmoterm U25 použít. Pro certifikaci i do prodeje šly jiné typy, avšak pan majitel si je chtěl nechat jako know-how. Ubezpečil mě, že typy, které mi poskytl, jsou velmi podobné těm, které v současné době používají.

Mám vypůjčené tyto ekonomizéry:

- 6 ks šroubovitých (Obr. č. 7.5)
- 1 ks malý lopatkový
- 1 ks velký lopatkový



Obr. č. 7.4 Zapůjčené šroubovité turbulátory

Nebylo třeba tedy turbulátory vyrábět, přesto popíšu, jaký navrhuji výrobní postup konkrétních typů:

### Výroba šroubovitého turbulátoru

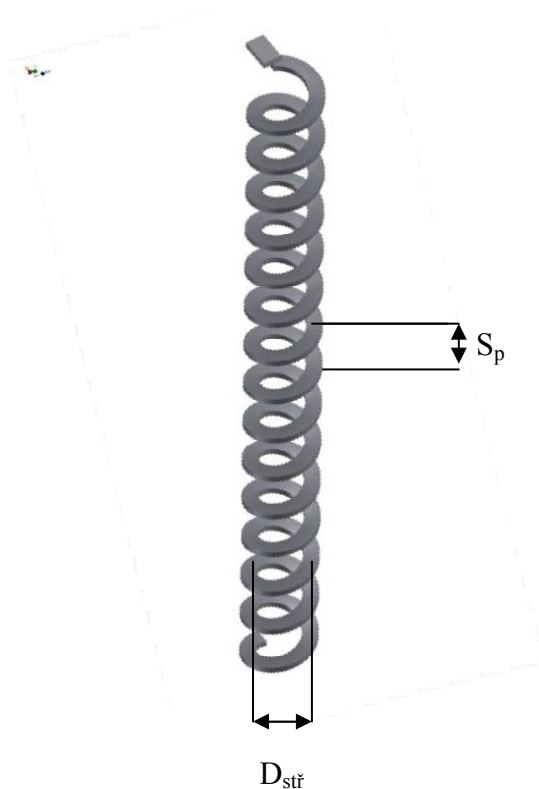
Spirálový turbulátor je vyroben z černého materiálu. Jako polotovar byla použita tyč plochá 12 x 5 mm. Ta se navinula na trubku o vnitřním průměru turbulátoru 34 mm. Pro uchycení na horní trubkovnici výměníku slouží 25 mm téže tyče, která je přivařena kolmo k vinutému plocháči. Za tuto malou plošku se turbulátor opře o plochu trubkovnice a je tím zavěšen v průduchu výměníku. Potřebnou délku tyče jsem vypočetla 2249 mm. Podrobnější popis je v příloženém výkrese č. 3-002.

Výpočet délky šroubovice turbulátoru

$$l_p = \sqrt{(\pi \cdot D_{stř})^2 + s_p^2} \cdot n_p \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

$$l_p = \sqrt{(\pi \cdot 46)^2 + 40^2} \cdot 15 = 2249 \text{ mm}$$

Kde	$D_{stř}$	střední průměr pružiny	[mm]
	$s_p$	stoupání pružiny	[mm]
	$n_p$	počet stoupání pružiny	[1]



Obr. č. 7.5 Model šroubovitého turbulátoru



### Výroba Lopatkového turbulátoru

Turbulátory (obr. č. 7.6), které se umisťují do osmihranných průduchů, se oba vyrábí stejným postupem. Na závitové tyči jsou pomocí matic upevněny ve stejných rozestupech plechové lopatky. Ty jsou vystříhnuté z plechu o síle 1 mm ve tvaru obdélníků a ohnuté po obou stranách tak, aby v horní plošce bylo možno provrtat otvor na závitovou tyč. U tohoto typu turbulátoru je zachycení ve výměníku vyřešeno přivařenou kulatinou kolmo na závitovou tyč. Ta má přesah přes šířku osmihranu v trubkovnici. Výkresy turbulátorů opět přikládám k práci (č. v. 3-003 a 3-004).



Obr. č. 7.6 Model lopatkového turbulátoru

### Funkce spalínového turbulátoru

- Zintenzivňují a zefektivňují přenos tepla do vody
- Zvyšují účinnost kotle
- Snižují spotřebu paliva
- Snižují teplotu spalin v komínu
- Snižují kinetickou energii částic popílků (zpomalují proudění spalin)
- Vytvářejí turbulentní proudění spalin

Jsou to přídavná zařízení, která se umísťují do výměníku na stranu spalin. Mechanicky zabráňují úletu TZL a zároveň, díky turbulentnímu proudění, zvyšují přestup tepla ze spalin do topné vody. Patří mezi gravitační odlučovače.

## 8 Stechiometrické výpočty

Ve výpočtové části své diplomové práce nejdříve vypočtu stochiometrické spalování, což jsou výpočty, které předpokládají spotřebování veškerého kyslíku na vznik produktů hoření. Nevyskytoval by se tedy žádný ve spalinách. Začnu s teoretickým spalováním, kde je počítáno s minimálním množstvím spalovacího vzduchu, právě potřebného pro dokonalé vyhoření hořlaviny. Ve skutečnosti se uhlí spaluje v kotli s větším množstvím vzduchu, než je teoretický objem, proto musím v dalším odstavci přepočítat hodnoty pro spalování s přebytkem vzduchu. Vzorce, které jsem v následující kapitole použila, jsou z normy ČSN 07 0302 [7].

### 8.1 Výchozí parametry

Jelikož kotel Cosmoterm U25 je certifikován na spalování hnědého uhlí ořech 2, který má zrnitost 10 – 25 mm, vybrala jsem si pro výpočet uhlí ze Severočeských dolů, konkrétně z dolu Bílina. Tohle uhlí používám i doma při všech měřeních. Složení uhlí uvádím v následující tabulce č. 8.1. Tyto hodnoty jsou přepočteny na surový stav paliva.

Bílinské hnědé uhlí ořech 2		
Název	Označení	[%]
Obsah uhlíku	C <sup>r</sup>	44,89
Obsah vodíku	H <sup>r</sup>	3,59
Obsah síry	S <sup>r</sup>	0,77
Obsah kyslíku	O <sup>r</sup>	13,87
Obsah dusíku	N <sup>r</sup>	0,56
Obsah popeloviny	A <sup>r</sup>	6,84
Obsah vody	W <sup>r</sup>	30,20
Suma	~	100

Tab. č. 8.1 Hrubý rozbor spalovaného uhlí [8]

Hmotové složení pevných paliv představuje vzájemný poměr hořlaviny, popeloviny a vody. Hořlavina je nejvýznamnější složkou paliva a představují ji prvky uhlík, vodík a síra. Na ně je vázána energie v palivu. Kyslík slouží jako okysličovadlo, které se aktivně účastní procesu hoření. A dusík je pasivní složkou. Ani jeden z nich nepředává žádnou energetickou hodnotu.

$$h + A + W = 1 \quad [1] \quad (2)$$

V tabulce je, pro kontrolu, vyjádřen součet všech třech složek. Dává mi přibližně 100 %.

Výhřevnost paliva v surovém stavu katalog uhlí udává 17,6 MJ/kg paliva. [8]

Při spalování uhlí v automatických kotlích se udává přebytek vzduchu 1,4 – 2. Pro svůj kotel volím přebytek vzduchu 1,8. Tato hodnota odpovídá skutečnému stavu při spalování v kotli U25..

Dále musím zvolit součinitel vlhkosti vzduchu. Při běžných klimatických podmínkách, kdy relativní vlhkost vzduchu je 70 % a teplota vzduchu 20 °C, volím koeficient vlhkosti vzduchu 1,016.

$$Q_i^r = 17,6 \text{ MJ/kg} = 17600 \text{ kJ/kg}$$

$$n = 1,8$$

$$v = 1,016$$

## 8.2 Stechiometrické objemy vzduchu a spalin

Všechny stechiometrické výpočty spalovacích reakcí jsou uvažovány při normálních podmínkách, tj. teplotě 0°C a tlaku 101325 Pa.

Minimální objem suchého vzduchu potřebný pro dokonalé spálení 1 kg paliva

$$V_{vz,t^s} = \frac{22,39}{0,2095} \cdot \left( \frac{C}{12,011} + \frac{H}{4,032} + \frac{S}{32,066} - \frac{O}{32} \right) \quad [\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}] \quad (3)$$

$$V_{vz,t^s} = \frac{22,39}{0,2095} \cdot \left( \frac{0,4489}{12,011} + \frac{0,0359}{4,032} + \frac{0,0077}{32,066} - \frac{0,1387}{32} \right) = 4,508 \text{ m}^3_{\text{n}}/\text{kg}$$

Kde	C	obsah uhlíku v surovém palivu	[1]
	H	obsah vodíku v surovém palivu	[1]
	S	obsah síry v surovém palivu	[1]
	O	obsah kyslíku v surovém palivu	[1]

Objem suchých spalin, které vzniknou z dokonalého spálení 1 kg uhlí

$$V_{sp,t^s} = \frac{22,26}{12,011} C + \frac{21,89}{32,066} S + \frac{22,4}{28,016} N + 0,7905 \cdot V_{vz,t^s} \quad [\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}] \quad (4)$$

$$V_{sp,t^s} = \frac{22,26}{12,011} 0,4489 + \frac{21,89}{32,066} 0,0077 + \frac{22,4}{28,016} 0,0056 + 0,7905 \cdot 4,508 = 4,405$$

$\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}$

Kde	C	obsah uhlíku v surovém palivu	[1]
	S	obsah síry v surovém palivu	[1]
	N	obsah dusíku v surovém palivu	[1]
	$V_{vz,t^s}$	objem suchého teoretického vzduchu z rce č. (3)	$[\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}]$

Objem vodní páry ve spalinách

$$V_{H_2O,t} = 11,1111H + 1,2433W + (v - 1) \cdot V_{vz,t^s} \quad [\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}] \quad (5)$$

$$V_{H_2O,t} = 11,1111 \cdot 0,0359 + 1,2433 \cdot 0,302 + (1,016 - 1) \cdot 4,508 = 0,846 \text{ m}^3_{\text{n}}/\text{kg}$$

Kde	H	obsah vodíku v surovém palivu	[1]
	W	obsah vody v surovém palivu	[1]
	v	koefficient vlhkosti	[1]
	$V_{vz,t^s}$	objem suchého teoretického vzduchu z rce č. (3)	$[\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}]$

### Objem vlhkých spalin při dokonalém spálení 1 kg paliva

$$V_{sp,t^v} = V_{sp,t^s} + V_{H_2O,t} \quad [m^3_n/kg] \quad (6)$$

$$V_{sp,t^v} = 4,405 + 0,846 = 5,252 m^3_n/kg$$

Kde	$V_{sp,t^s}$	objem suchých teoretických spalin z rce č. (4)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{H_2O,t}$	objem teoretické vodní páry z rce č. (5)	$[m^3_n/kg]$

### 8.3 Nadstechiometrické objemy vzduchu a spalin

#### Skutečný objem suchého vzduchu potřebný pro spálení 1 kg paliva

$$V_{vz,s^s} = V_{vz,t^s} \cdot n \quad [m^3_n/kg] \quad (7)$$

$$V_{vz,s^s} = 4,508 \cdot 1,8 = 8,115 m^3_n/kg$$

Kde	$V_{vz,t^s}$	objem suchého teoretického vzduchu z rce č. (3)	3,943	$[m^3_n/kg]$
	$n$	přebytek vzduchu	[1]	

#### Skutečný objem vlhkého vzduchu potřebný ke spálení 1 kg paliva

$$V_{vz,s^v} = V_{vz,s^s} \cdot v \quad [m^3_n/kg] \quad (8)$$

$$V_{vz,s^v} = 8,115 \cdot 1,016 = 8,245 m^3_n/kg$$

Kde	$V_{vz,s^s}$	objem suchého skutečného vzduchu z rce č. (7)	$[m^3_n/kg]$
	$v$	koefficient vlhkosti	[1]

#### Objem suchých spalin skutečných při spálení 1 kg uhlí

$$V_{sp,s^s} = V_{sp,t^s} + (n - 1) \cdot V_{vz,t^s} \quad [m^3_n/kg] \quad (9)$$

$$V_{sp,s^s} = 4,405 + (1,8 - 1) \cdot 4,508 = 8,012 m^3_n/kg$$

Kde	$V_{sp,t^s}$	objem suchých teoretických spalin z rce č. (4)	$[m^3_n/kg]$
	$n$	přebytek vzduchu	[1]
	$V_{vz,t^s}$	objem suchého teoretického vzduchu z rce č. (3)	$[m^3_n/kg]$

### Skutečný objem vodní páry ve spalínách

$$V_{H_2O,s} = V_{H_2O,t} + (n - 1) \cdot (v - 1) \cdot V_{vz,t^s} \quad [m^3_n/kg] \quad (10)$$

$$V_{H_2O,s} = 0,846 + (1,8 - 1) \cdot (1,016 - 1) \cdot 4,508 = 0,904 \text{ m}^3_n/kg$$

Kde	$V_{H_2O,t}$	objem teoretické vodní páry z rce č. (5)	$[m^3_n/kg]$
	$n$	přebytek vzduchu	$[1]$
	$v$	koefficient vlhkosti	$[1]$
	$V_{vz,t^s}$	objem suchého teoretického vzduchu z rce č. (3)	$[m^3_n/kg]$

### Objem vlhkých spalín skutečných při spálení 1 kg uhlí

$$V_{sp,s^v} = V_{sp,s^s} + V_{H_2O,s} \quad [m^3_n/kg] \quad (11)$$

$$V_{sp,s^v} = 8,012 + 0,904 = 8,916 \text{ m}^3_n/kg$$

Kde	$V_{sp,s^s}$	objem suchých skut. spalín z rce č. (9)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{H_2O,s}$	objem skutečné vodní páry z rce č. (10)	$[m^3_n/kg]$

### Objemy jednotlivých prvků ve spalínách z paliva při skutečném spalování

$$V_{CO_2,p,s} = \frac{22,26}{12,011} C \quad [m^3_n/kg] \quad (12)$$

$$V_{CO_2,p,s} = \frac{22,26}{12,011} 0,4489 = 0,832 \text{ m}^3_n/kg$$

Kde	$C$	obsah uhlíku v surovém palivu	$[1]$
-----	-----	-------------------------------	-------

$$V_{SO_2,p,s} = \frac{21,89}{32,066} S \quad [m^3_n/kg] \quad (13)$$

$$V_{SO_2,p,s} = \frac{21,89}{32,066} 0,0077 = 0,005 \text{ m}^3_n/kg$$

Kde	$S$	obsah síry v surovém palivu	$[1]$
-----	-----	-----------------------------	-------

$$V_{N_2,p,s} = \frac{22,4}{28,016} N \quad [m^3_n/kg] \quad (14)$$

$$V_{N_2,p,s} = \frac{22,4}{28,016} 0,0056 = 0,004 \text{ m}^3_n/kg$$

Kde	$N$	obsah dusíku v surovém palivu	$[1]$
-----	-----	-------------------------------	-------

### Objemy jednotlivých prvků ve spalínách ze vzduchu při skutečném spalování

$$V_{CO_2, vz, s} = 0,0003 \cdot V_{vz, s^s} \quad [m^3_n/kg] \quad (15)$$

$$V_{CO_2, vz, s} = 0,0003 \cdot 8,115 = 0,002 \text{ m}^3_n/kg$$

$$V_{N_2, vz, s} = 0,7809 \cdot V_{vz, s^s} \quad [m^3_n/kg] \quad (16)$$

$$V_{N_2, vz, s} = 0,7809 \cdot 8,115 = 6,337 \text{ m}^3_n/kg$$

$$V_{Ar, vz, s} = 0,0093 \cdot V_{vz, s^s} \quad [m^3_n/kg] \quad (17)$$

$$V_{Ar, vz, s} = 0,0093 \cdot 8,115 = 0,075 \text{ m}^3_n/kg$$

Kde  $V_{vz, s^s}$  objem suchého skutečného vzduchu z rce č. (7)  $[m^3_n/kg]$

Objem složek ve spalínách, které vzniknou navíc – oproti dokonalému – při nadstechiometrickém spalování

$$V_{CO, s} = \frac{22,41}{12,011} C \quad [m^3_n/kg] \quad (18)$$

$$V_{CO, s} = \frac{22,41}{12,011} 0,4489 = 0,838 \text{ m}^3_n/kg$$

$$V_{O_2, s} = \frac{22,39}{12,011} C \quad [m^3_n/kg] \quad (19)$$

$$V_{O_2, s} = \frac{22,39}{12,011} 0,4489 = 0,837 \text{ m}^3_n/kg$$

Kde  $C$  obsah uhlíku v surovém palivu  $[1]$

### 8.4 Koncentrace jednotlivých složek ve spalínách

$$\omega_i = \frac{V_i}{V_{sp, s^v}} \quad [1] \quad (20)$$

Dosazením součtů objemů jednotlivých složek spalín do vzorce č. (20) získám koncentraci každé z nich:

$$\omega_{N_2} = \frac{V_{N_2, p, s} + V_{N_2, vz, s}}{V_{sp, s^v}} = \frac{0,004 + 6,337}{8,916} = 0,711$$



$$\omega_{H_2O} = \frac{V_{H_2O,s}}{V_{sp,s^v}} = \frac{0,904}{8,916} = 0,101$$

$$\omega_{CO} = \frac{V_{CO,s}}{V_{sp,s^v}} = \frac{0,838}{8,916} = 0,094$$

$$\omega_{O_2} = \frac{V_{O_2,s}}{V_{sp,s^v}} = \frac{0,837}{8,916} = 0,094$$

$$\omega_{CO_2} = \frac{V_{CO_2,p,s} + V_{CO_2,vz,s}}{V_{sp,s^v}} = \frac{0,832 + 0,002}{8,916} = 0,094$$

$$\omega_{Ar} = \frac{V_{Ar,vz,s}}{V_{sp,s^v}} = \frac{0,075}{8,916} = 0,008$$

Kde	$V_{N_2,p,s}$	objem dusíku ze dřeva ze vzorce č. (14)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{N_2,vz,s}$	objem dusíku ze vzduchu ze vzorce č. (16)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{H_2O,s}$	objem skutečné vodní páry ze vz. č. (10)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{CO,s}$	objem oxidu uhelnatého ze vz. č. (18)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{O_2,s}$	objem kyslíku ze vzorce č. (19)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{CO_2,p,s}$	objem oxidu uhličitého z paliva ze vz. č. (12)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{CO_2,vz,s}$	objem oxidu uhličitého ze vzduchu ze vz. č. (15)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{Ar,vz,s}$	objem argonu ze vzduchu ze vz. č. (17)	$[m^3_n/kg]$
	$V_{sp,s^v}$	objem skutečných vlhkých spalin ze vz. č. (11)	$[m^3_n/kg]$

Správnost výpočtu jsem si ověřila součtem jednotlivých koncentrací, které musí dávat dohromady 100 % tj. hodnotu 1.

$$\sum \omega_i = 1,102 \sim 1$$

## 9 Stanovení nedopalu ve škváře

Hořlavina, která se během procesu nespálí a nepřemění svou energii, která je chemicky vázaná v palivu na tepelnou, říkáme nedopal. Jedná se o část původní hořlaviny, kterou odebíráme ve formě tuhých zbytků v popelu a škváře, a o hořlavinu, která je obsažena v úletu a plynných hořlavých složkách.

Oslovila jsem firmu Biocel Paskov a. s., která má vlastní laboratoř na stanovení nedopalu ve škváře u uhelných kotlů. Vyšli mi vstříc a udělali rozbor mnou 2 zaslaných vzorků popela, který jsem po měření odebrala z popelníku (Obr. č. 10.3). Vzorek byl odebrán po prvním měření bez turbulátorů a v pořadí po třetím měření s turbulátory.

### Metoda stanovení nedopalu

Princip: Rozdrcení vysušeného vzorku ve vibračním drtiči a spálení takto upraveného vzorku. Jedná se o vážkové stanovení.

Pomůcky: vibrační drtič, porcelánové kelímky, spalovací pec s regulací teplot, analytické váhy, exikátor se silikagelem

Postup: Vysušený vzorek se rozdrtil ve vibračním drtiči. Škvára byla rozdělena na 2 dávky, aby bylo vzorku více a byl reprezentativnější. Do zvážených kelímků se odvážilo asi 1g promíchaného rozemletého vzorku. Ten se nechal napřed zuhelnatit a po té se spaloval při teplotě 800 °C po dobu 2 hodin. Po spálení se zbytek v kelímku zvážil.

Výpočet:

$$nedopal = \frac{vyvážka}{navážka} \cdot 100 \quad [1] \quad (21)$$

$$nedopal = 100 - X \quad [\%] \quad (22)$$

Výsledky rozboru byly 35,84% bez turbulátorů a 28,76 s turbulátory. Vždy se jedná o průměr ze dvou rozborů.

Obě hodnoty jsou příliš vysoké. Pro srovnání uhelný kotel na Biocel Paskov mívá jen 5 % nedopalu ve škváře.

Předpokládám, že tato vysoká hodnota je způsobena tím, že jsem měření prováděla přibližně 2 h a v popelníku byly tedy jak škvára ze zapalování kotle, tak i z dohořívání. Tyto dva nepříznivé stavy ve spalování jsou při běžném provozu ve stejné míře na mnohem větší dávku paliva, protože kotel hoří několik dní v kuse. V naší domácnosti většinou v průměru kolem 14 dní a popel je vybírán 1 x za týden. V tomto případě by reprezentativní vzorek popela obsahoval zcela jistě méně nedopalu.

Jako ukazatel tedy беру hlavně to, že s turbulátory je docíleno shoření většího množství hořlaviny než bez nich.

## 10 Měření na vlastním kotli

Pomocí zapůjčených turbulátorů jsem se snažila zjistit, jestli jejich použití na mém kotli Cosmoterm U25 r. v. 2013 bude mít vliv na snížení emisí a na efektivnost provozu kotle. Jak už jsem psala výše, největší podíl na emisích mají TZL. Zaměřila jsem se tedy na úlet pevných částic, které unikají, spolu se spalinami, z našeho komína do ovzduší. Ve skutečnosti jsem se to snažila zjistit z kotelny, jelikož nemám na komín přístup a to pomocí sbírání a vážení popela a popílku, který se zachytil v kotli. Předpokládala jsem, že pokud turbulátory vedou ke zlepšení emisí na výstupu z komína, musí se popílek zachytit někde mezi spalovací komorou a koncem komína. Protože nebylo možné po každém měření nechat čistit komín, zaměřila jsem se pouze na soustavu popelník, spalovací komora, plochy výměníku až po vstup do kouřovodu.

Jelikož jsem si pro svou práci zvolila měření na svém kotli v domácích podmínkách, vše tedy probíhalo v mé kotelně pomocí dostupných měřáků a měřidel.

Použité měřidla: průtokoměr, analogický příložný teploměr, termočlánek z havarijního termostatu kotle, hodiny

Další použité pomůcky: vysavač popela, kuchyňská digitální váha

### 10.1 Příprava před zahájením měření

Každé měření trvalo tak dlouho, dokud se nespálila mnou určená jednotka paliva 1 malý maltovník uhlí, tj. 3,7 kg uhlí. Což bylo přibližně kolem 2 h. Před každým měřením bylo nutné kotel pořádně vymést a vysát, aby nezůstalo, pokud možno, nic po předchozím spalování. Znamenalo to důkladně vyčistit teplosměnné plochy výměníku spaliny – voda, prostor spalovací komory a prostor pro záchyt popela.

Popílek ulpívá na vodorovných plochách, které jsou na horní trubkovnici výměníku, dále na vertikálních plochách, které jsou tvořeny svislými průduchy. Průduchů je celkem 8: 2 s průřezem osmiúhelníku a 6 kruhového průřezu. Výrobce dodává jako základní vybavení kotlový kartáč, který pasuje přesně do průměru kruhových průduchů. Pomocí něj jsem očistila plochy průduchů spalin ve výměníku. Očištěný popílek padá dolů do prostoru topeniště tj. do popelníku nebo v 2. a 3. tahu výměníku do vyjímatelné přepážky, která

slouží ke správnému tahu spalin směrem ke kouřovodu a kterou jsem musela taktéž pečlivě vymést. Další svislé plochy jsou tvořeny stěnami topeniště. Ty jsem musela před každým měřením vykartáčovat. Na dně spalovací komory je umístěný popelník, ze kterého se vyjímá popel spolu s nameteným popílkem. Jelikož je mezi popelníkem a stěnami kotle vůle, je třeba vymést i nejnižší vodorovnou plochu pod a kolem popelníku. Pro větší důslednost čištění těchto všech ploch jsem si zapůjčila vysavač popela a i z těch nejmenších záhybů a plošek jsem odstranila veškerý popel a popílek.



Obr. č. 10.1 Vyjímatelná přepážka výměníku a popelník před začátkem měření

Tohle celkové čištění se při běžném provozu kotle provádí přibližně 1x za měsíc, abychom vyčistili všechny teplosměnné plochy kotle a zabránili tím zhoršení přestupu tepla do vody. Pro mé měření bylo nutné, aby byl kotel v takto čistém stavu před každým měřením.

## 10.2 Zahájení a průběh měření

Měření s turbulátory i bez nich jsem začínala pokaždé stejně. Do násypky paliva jsem vsypala 3,7 kg hnědého uhlí z Bílinských dolů viz. obr 10.2. Jeho parametry jsou uvedené v kapitole 8.1. Pomocí manuálního nastavení kotle, které se používá při zátopu, jsem nahrnula šnekovým podavačem uhlí do hořáku tak, abych ho mohla zapálit. Zapálila jsem uhlí. Řídící jednotka kotle sama přešla z manuálního nastavení do automatického

po uplynutí cca 10 min. Automatické nastavení bylo u všech měření nastaveno stejně. Čas chodu podavače, stejně jako prodlevu chodu podavače, máme zvolenou tak, aby ohniště nemělo tendenci zahořívát zpět do podavače paliva. Ohniště udržujeme v úrovni trysek hořáku, aby nedošlo k poškození šnekové hřídele podavače. Teplota v kotelně byla pokaždé 19 – 20 °C. Tlak byl normální barometrický tj. 1 atm.



Obr. č. 10.2 3,7 kg uhlí nasypané v zásobníku paliva

čas chodu podavače paliva [s]	prodleva chodu podavače	nastavení ventilátoru [%]	výkon kotle [kW]	přibližná spotřeba paliva [kg/h]
5	42	51	17,8	4,1

Tab. č. 10.1 Nastavení automatického chodu kotle

Odečítání hodnot z měřidel jsem začala v čase  $t_1$ , kdy se začala zvyšovat teplota vstupní i výstupní vody. V pravidelných intervalech až do doby  $t_2$ , kdy teploty začaly klesat, jsem zaznamenávala aktuální teploty vstupní a výstupní vody, aktuální stav průtoku na vodoměru, ze kterého jsem později dopočítala množství nahláté vody a celkové teplo předané vodě  $Q$ .



Obr. č. 10.3 Plamen hořáku během měření



Obr. č. 10.4 Dohořívání paliva v hořáku

### 10.3 Hodnoty získané měřením bez turbulátorů

#### Měření 1

1. Měření bylo započato na vychladnutém kotli. Konstrukce kotle odpovídala výrobnímu provedení. Nebyly udělané žádné konstrukční úpravy viz. obr. č. 5.8.

Průběžné odečítání teplot a aktuálního stavu vodoměru jsou zaznamenány v přední části tabulky č. 10.2

odečtené hodnoty				vypočtené hodnoty			
čas odečtu [h:min]	vstupní voda [°C]	výstupní voda [°C]	objem vody [m <sup>3</sup> ]	hustota vody v závislosti na teplotě [kg/m <sup>3</sup> ]	hmotnostní průtok vody [kg/s]	měrná tepelná kapacita vody [kJ/kg.K]	teplo předané vodě Q [kW]
16:18	44,0	47,0	65,126				
16:37	55,0	60,2	65,459	983,725	0,287	4,178	6,243
16:46	58,5	70,9	65,609	979,969	0,216	4,183	11,219
16:56	61,0	71,0	65,789	979,257	0,294	4,184	12,291
17:00	61,5	70,9	65,852	979,147	0,257	4,184	10,109
17:10	62,0	72,0	66,098	978,704	0,401	4,185	16,791
17:17	62,0	71,6	66,156	978,815	0,280	4,184	11,230
17:21	62,0	71,1	66,228	978,953	0,294	4,184	11,183
17:35	62,0	71,0	66,472	978,981	0,245	4,184	9,209
17:53	64,0	70,1	66,789	978,676	0,279	4,185	7,133
průměrná hodnota:				979,581	0,284	4,183	10,601

Tab. č. 10.2 Měření č. 1



### Výpočet množství napájecí vody za čas (hmotnostního toku)

Jelikož mám pouze údaje v aktuálním čase odečtu, musela jsem přepočítat kolik metrů krychlových vody protéklo výměníkem od posledního zápisu z měření. Následně převést za stejnou časovou jednotku, v mém případě za 1 sekundu a do vzorce na výpočet tepla předaného vodě ve výměníku převést na hmotnostní průtok v kg vody za sekundu.

Výpočet uvedu jen pro první krok měření. Při každém dalším časovém úseku bude postup výpočtu stejný.

Průtok za čas, který uběhl od posledního odečtu

$$\dot{V} = \frac{V_n - V_{n-1}}{time_n - time_{n-1}} \quad [m^3/min] \quad (23)$$

$$\dot{V} = \frac{65,459 - 65,126}{16:37 - 16:18} = \frac{0,333}{19} m^3/min$$

Kde	$V_n$	hodnota na průtokoměru v čase n z měření	$[m^3]$
	$V_{n-1}$	hodnota na průtokoměru v předchozím měření	$[m^3]$
	$time_n$	čas n měření	$[h:min]$
	$time_{n-1}$	čas předchozího měření	$[h:min]$

Voda má při různých teplotách různou měrnou hmotnost. Přesná hustota se dá stanovit buď z dostupných tabulek teplotní závislosti hustoty vody nebo použít přepočet. Já použila vzorec. [11]

$$\rho = 1006 - 0,26 \cdot t - 0,0022 \cdot t^2 \quad [kg/m^3] \quad (24)$$

$$\rho = 1006 - 0,26 \cdot 57,6 - 0,0022 \cdot 57,6^2 = 983,725 \text{ kg}/m^3$$

Kde  $t$  prům. teplota v daném čase ve výměníku ze vz. č. 25  $[^\circ C]$

$$t = \frac{t_{in} + t_{out}}{2} \quad [^\circ C] \quad (25)$$

$$t = \frac{55 + 60,2}{2} = 57,6 \text{ } ^\circ C$$

Kde	$t_{in}$	teplota vstupní vody do výměníku	$[^\circ C]$
	$t_{out}$	teplota výstupní vody z výměníku	$[^\circ C]$



Hmotnostní tok za 1 s

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \frac{\rho}{60} \quad [\text{kg/s}] \quad (26)$$

$$\dot{m} = \frac{0,333}{19} \cdot \frac{983,725}{60} = 0,287 \text{ kg/s}$$

Kde	$\dot{V}$	objemový průtok ze vzorce č. 23	$[\text{m}^3/\text{min}]$
	$\rho$	hustota vody při dané teplotě vz. č. 24	$[\text{kg}/\text{m}^3]$

Jak jsem uvedla v tabulce č. 10.2, průtok vodoměrem je v různých časech  $\pm 0,1$  kg za vteřinu. Je to způsobeno tím, že ačkoliv je čerpadlo pohánějící vodu za výměníkem nastaveno na konstantní otáčky, v topné soustavě je instalováno několik termostatických ventilů. Jedny jsou na topném okruhu, který vede do radiátorů, před tělesy radiátorů. Další je před rozvaděčem podlahového topení. Všechny se přiškrtí a zmenší průtok teplé vody směrem od kotle dále do topných těles nebo hadů ve chvíli, kdy je teplota vzduchu na nastavené požadované hodnotě nebo teplota teplé vody z kotle je vyšší, než je nastavena do podlahového topení. Tzn., že se zmenší v daném okamžiku i průtok vody na zpátečkách směrem do kotle a tím i výměníkem.

### Střední měrná tepelná kapacita vody v daném teplotním intervalu

Měrnou tepelnou kapacitu vody jsem mohla opět odečíst z tabulek. Pomocí interpolace a přílohy č. 1 jsem získala hodnoty pro každou průměrnou teplotu vody ve výměníku.

Příklad výpočtu pro průměrnou teplotu  $57,6^\circ\text{C}$ , což je průměrná teplota ze vz. č. 25:

$$c_{p\text{H}_2\text{O}} \text{ pro } 40^\circ\text{C} = 4,174 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$c_{p\text{H}_2\text{O}} \text{ pro } 60^\circ\text{C} = 4,179 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$c_{p\text{H}_2\text{O}} \text{ pro } 57,6^\circ\text{C} = 4,179 - \frac{4,179-4,174}{20} \cdot 2,4 = 4,178 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

Pro zajímavost jsem zkoušela přepočítat měrné tepelné kapacity i podle vzorce, stejně jako u měrné hmotnosti, do kterého jsem dosadila pouze teplotu, pro kterou jsem měrnou tepelnou kapacitu hledala. [11] Hodnoty byly velmi podobné. Pro příklad uvádím opět pro první průměrnou teplotu měření, tj.  $57,6^\circ\text{C}$ :

$$c_p = (4210 - 1,363 \cdot t + 0,014 \cdot t^2) \cdot 10^{-3} \quad [\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})] \quad (27)$$

$$c_p = (4210 - 1,363 \cdot 57,6 + 0,014 \cdot 57,6^2) \cdot 10^{-3} = 4,178 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Kde  $t$  prům. teplota v daném čase ve výměníku ze vz. č. 25 [°C]

### Množství tepla předaného vodě

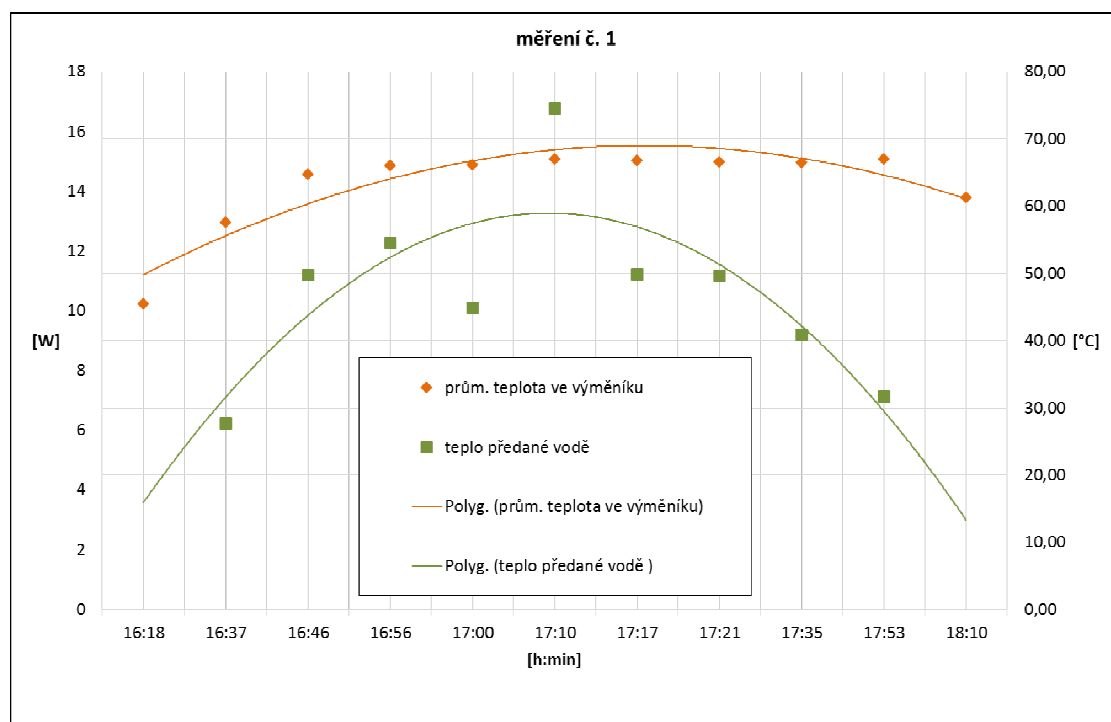
Pro teplovodní kotle, což jsou kotle pracujících s topnou vodou od 65 °C do 115 °C, mohou použít vzorec pro výpočet předaného tepla ze strany spalin do vody

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_{out} - t_{in}) \quad [\text{W}] \quad (28)$$

$$\dot{Q}_{out} = 0,287 \cdot 4,178 \cdot (60,2 - 55) = 6,243 \text{ W}$$

Kde	$\dot{m}$	množství napájecí vody viz rce č. 26	[kg/s]
	$c_p$	střední měrná kapacita vody	[kJ/(kg·K)]
	$t_{in}$	teplota vstupní vody do výměníku	[°C]
	$t_{out}$	teplota výstupní vody z výměníku	[°C]

Množství tepla předané vodě při 1. měření je dopočítáno pro každý čas měření v tabulce č. 10.2. Průměrně bylo za 1h a 40 minut předáno do vody 10,6 W tj. 10,6 J/s.



Graf č. 10.1 Průběh měření č. 1

## Měření 2

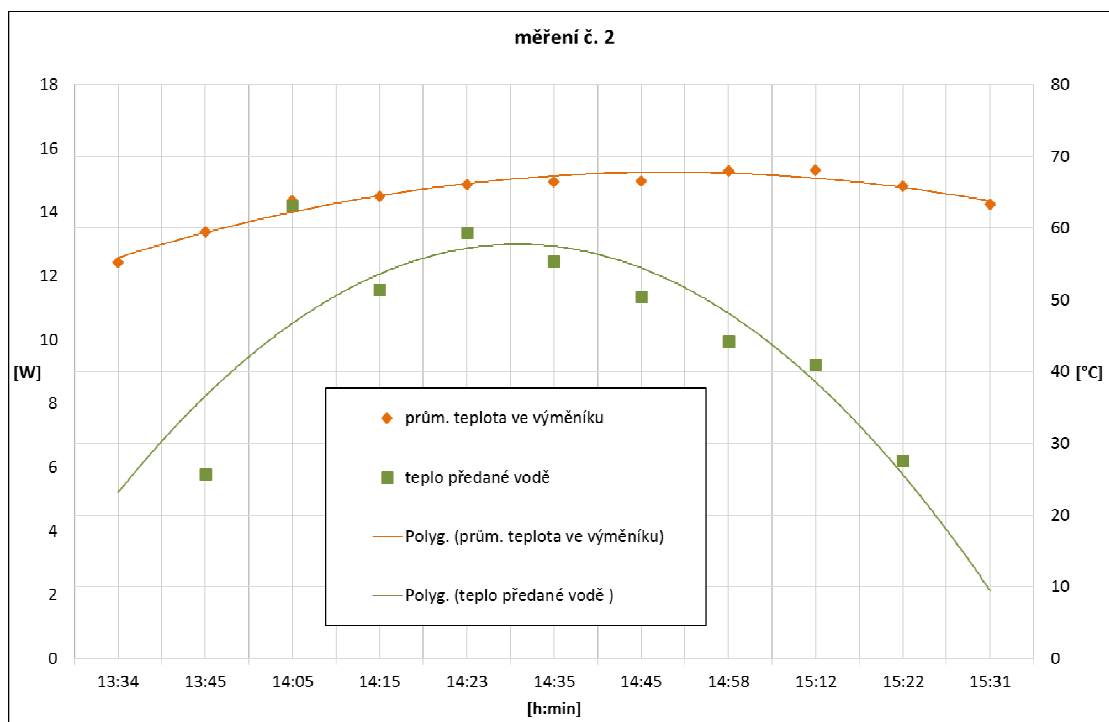
2. Měření jsem provedla následující den opět na zcela vyčištěném kotli, který byl na začátku měření vychladlý. Nebyly na něm provedeny žádné zásahy do konstrukce.

Vypočtené hodnoty jsou zapsané v tabulce.č. 10.3

měření č. 2	hustota vody v závislosti na teplotě [kg/m <sup>3</sup> ]	hmotnostní průtok vody [kg/s]	měrná tepelná kapacita vody [kJ/kg.K]	teplo předané vodě Q [kW]
průměrná hodnota:	979,551	0,275	4,184	10,460

Tab. č. 10.3 Vypočtené teplo z něřených hodnot u 2. měření

V grafu č. 10.2 je znát průběh průměrné teploty ve výměníku a jak se v závislosti na čase měnilo teplo do vody. Po zprůměrování všech hodnot Q jsem získala 10,460 W.

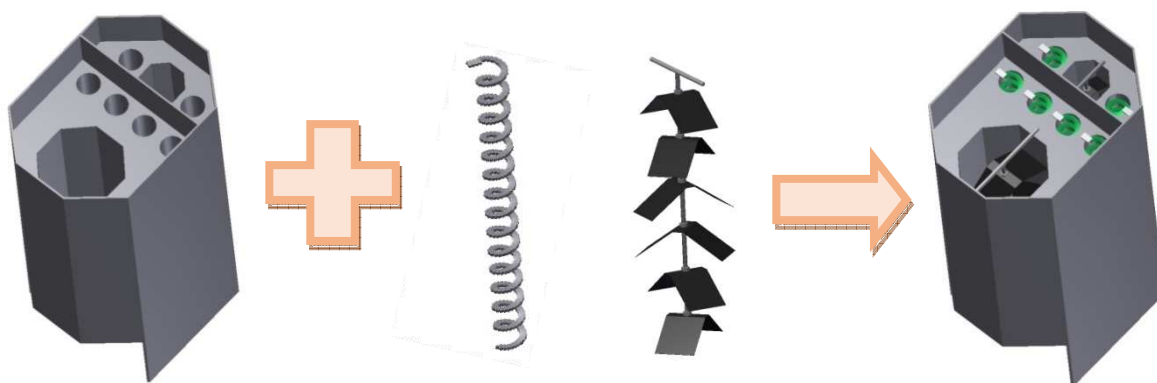


Graf č. 10.2 Průběh měření č. 2

### 10.4 Provedení konstrukční úpravy kotle

Pro úpravu kotle, abych dosáhla snížení úletu TZL a tím i vyšší emisní třídy, jsem použila turbulátory, které blíže popisují v kapitole č. 7.1.

1. Odstranila jsem horní zateplený kryt kotle
2. Pomocí maticových klíčů jsem otevřela víko kotle
3. Do všech trubek výměníku jsem vložila turbulátory tak, aby jejich přesahující části byly zachyceny na horní trubkovnici
4. Zavřela a utáhla jsem víko kotle
5. Přiklopila jsem kryt kotle



Obr. č 10.1 Schéma zapojení turbulátorů

Jedná se o rozebíratelnou úpravu, která je technicky velice nenáročná. Provést si ji může každý provozovatel kotle sám. Pokud turbulátory usměrní tok spalin tak, aby zefektivnili celý proces vytápění, určitě by měli uživatelé o této možnosti uvažovat.

Takto upravený výměník by měl splnit většinu mých předpokladů a usměrňovat spaliny tak, aby docházelo k lepšímu přestupu tepla a zachycení TZL uvnitř kotle.

### 10.5 Hodnoty získané měřením s turbulátory

V této kapitole jsem prováděla zcela shodný postup měření i výpočtů s kapitolou č. 10.3.

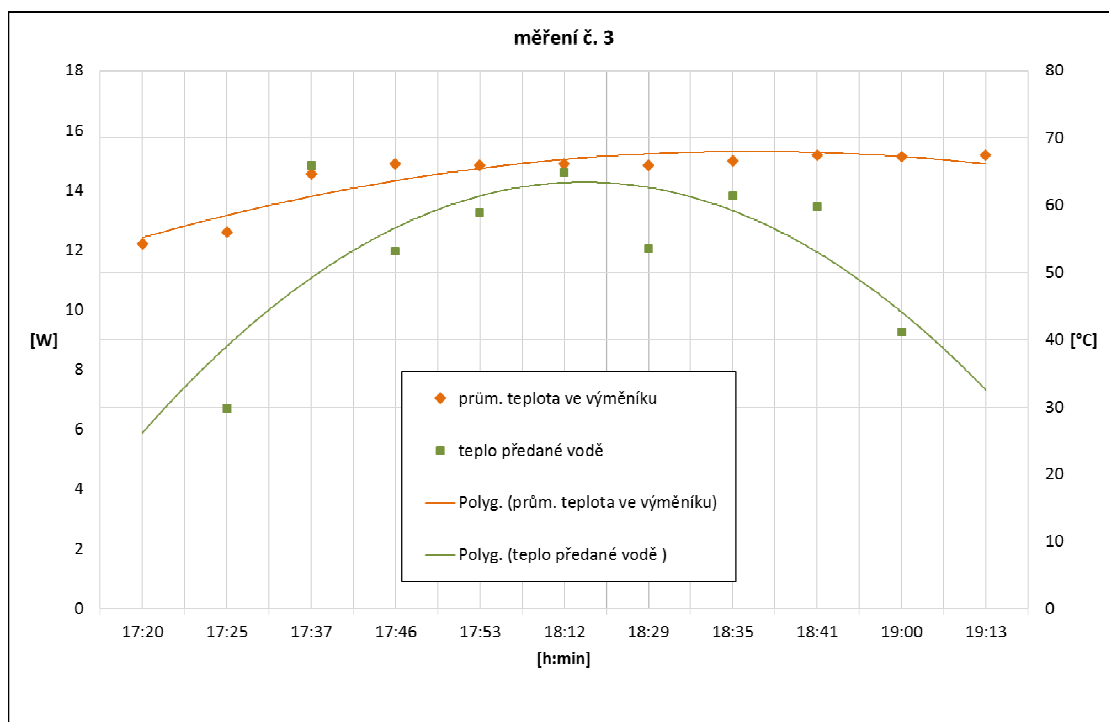
### Měření 3

3. měření jsem prováděla ten samý den, jako měření č. 2, na kotli, do kterého jsem umístila 6 spirálových turbulátorů a 2 s lopatkami do osmiúhelníkových průduchů. Ve všech trubkách výměníku došlo tedy ke konstrukční úpravě a tedy i ke změně proudění spalin a přestupu tepla směrem do vody. Ostatní parametry jako množství paliva, teplota okolního vzduchu, doba měření apod. zůstaly stejné.

Průměrně se v tomto případě předávalo do vody 12,214 W viz. tab 10.4 a graf č. 10.3..

měření č. 3	hustota vody v závislosti na teplotě [kg/m <sup>3</sup> ]	hmotnostní průtok vody [kg/s]	měrná tepelná kapacita vody [kJ/kg.K]	teplo předané vodě Q [W]
průměrná hodnota:	979,105	0,285	4,184	12,214

Tab. č. 10.4 Vypočtené teplo z naměřených hodnot u 3. měření



Graf č. 10.3 Průběh měření č. 3

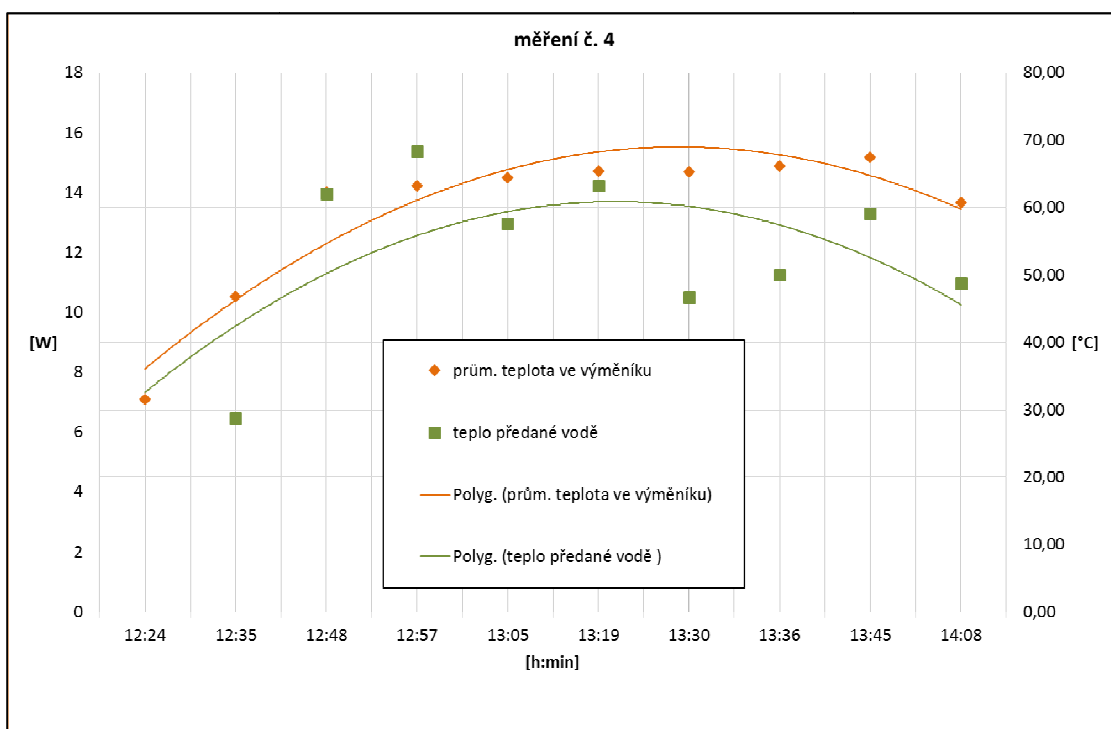
### Měření 4

Poslední měření jsem provedla opět se zavedenými turbulátory a při stejných podmínkách, nastavení, množství uhlí apod. jako ve všech předchozích případech měření.

Teplo, které bylo předáváno vodě bylo průměrně 12,111 W.

měření č. 4	hustota vody v závislosti na teplotě [kg/m <sup>3</sup> ]	hmotnostní průtok vody [kg/s]	měrná tepelná kapacita vody [kJ/kg.K]	teplo předané vodě Q [W]
průměrná hodnota:	979,879	0,281	4,183	12,111

Tab. č. 10.5 Vypočtené teplo z naměřených hodnot u 4. měření



Graf č. 10.4 Průběh měření č. 4

## 10.6 Množství TZL zachyceného v kotli

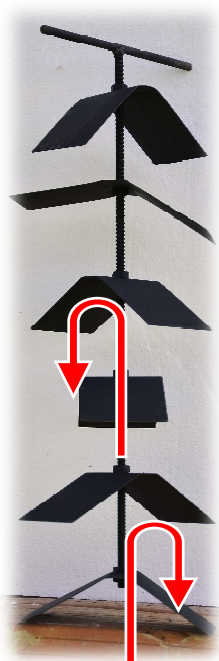
Tuhé znečišťující látky, které jsou předmětem mého zkoumání jsou

- Popel Tuhé zbytky vznikají chemickou reakcí z popeloviny.
- Popílek Zbývající část popeloviny, který vzniká spalováním a je unášen spaliny ve směru proudění. Nánosy popílku ulpívají na stěnách spalovací komory a na teplosměnných plochách výměníku. Tyhle nánosy snižují přestup tepla stěnou, což se projevuje snížením výkonu a účinnosti. A je třeba jej pravidelně mechanicky odstraňovat.

Po každém měření bylo třeba nechat kotel zcela úplně vyhasnout a nechat vychladnout, abych mohla odebrat všechn obsah tuhých látek z ohniště a z výhřevných ploch výměníku. Původně jsem uvažovala, že popel je část TZL, který mě v souvislosti se znečišťováním ovzduší nezajímá. Zůstane přeci na dně kotle v popelníku. Pro mě je důležité, kolik popílku mi ulpí na stěnách nad popelníkem.

Jenže popílek se usazuje na stěnách jak spalovací komory, tak ve všech třech tazích výměníku. Co se týká horizontálních ploch, tak část padá dolů do popelníku a část se usazuje na dně vyjímatelné přepážky mezi 2. a 3. tahem výměníku. Když jsem prováděla měření s turbulátory, silná vrstva nánosů ulpěla i na nich. Při jejich vyjímání opět padala část popílku do popelníku. A to musím uvažovat, že v prvním tahu výměníku konstrukce turbulátoru mechanicky odráží TZL v úletu dolů zpět do ohniště proti proudu spalin (Obr. č. 10.2). Řešila jsem tedy, jak oddělit popílek od popela.

Kvalita uhlí byla pro každé měření stejná. Uhlí obsahovalo tedy průměrně stejné množství popeloviny a objem popela je ze spáleného množství uhlí vždy stejný, rozhodla jsem se odebírat z kotle a vážit popel i popílek zároveň. Rozdíl ve zvážených hodnotách tedy přičítám vlivu zachyceného popílku v tělese výměníku a na stěnách topeniště.



Obr. č. 10.2  
Turbulátor 1. tahu  
výměníku



Obr. č 10.3 Sesbírané množství popela a popílku v popelníku

Při každém měření se mi pomocí kartáče a vysavače popela podařilo sesbírat co nejvíce všech TZL, které se nacházely mezi dnem kotle a ústí do kouřovodu. Všechnu objem jsem zvažila na kuchyňské váze, která má nejmenší jednotku 0,001 kg. Hodnoty jsou sepsány v tabulce č. 10.6.

Pořadí měření	Hmotnost popela + popílku [g]
1.	528
2.	515
3.	575
4.	583

Tab. č. 10.6 Zvážený popel s popílkem



## 11 Porovnání stavu s a bez

Provedla jsem 2 měření bez úpravy a 2 měření se zapůjčenými turbulátory vloženými do všech trubek výměníku. Přestože měření probíhalo u mě doma, kde nemám patřičná měřidla, abych mohla provádět měření podle normy ČSN EN 303-5, výsledky odpovídají očekávání.

### Tepelný výkon

Bez vložených turbulátorů jsem měla ve výměníku spaliny – voda přibližně o 2 kW menší přestup tepla do vody než s turbulátory. Získat ze stejného množství uhlí o 2 kW větší tepelný výkon není zanedbatelné. Projeví se mi to jak na úspoře nákladů na vstupních energiích, tak i na větší šetrnosti k ovzduší. Pro dosažení stejného tepelného výkonu mi bude stačit spálit menší množství paliva. Méně spáleného uhlí = méně znečišťujících splodin.

Pořadí měření	Konstrukční úprava	Průměrný teplovodní výkon [kW]
1.	Bez turbulátorů	10,601
2.	Bez turbulátorů	10,460
3.	S turbulátory	12,214
4.	S turbulátory	12,111

Tab. č. 11.1 Stav tepelného výkonu před a po konstrukční úpravě

### Zachycené TZL

Co je ale důležitější, tak při stejném množství spáleného uhlí dokáží turbulátory na sobě a sebou samými zadržet v kotli o cca 60 g více popílku viz. Tab. č. 11.2, který bez jejich zapojení odletí komínem do ovzduší. Při spálení 1 kg uhlí odletí komínem tedy o 16 g TZL méně. Týdně spálíme přibližně 125 kg uhlí, ušetříme ovzduší tedy o 2 kg tuhých znečišťujících látek za týden.

Pořadí měření	Konstrukční úprava	Hmotnost popela + popílku [g]
1.	Bez turbulátorů	528
2.	Bez turbulátorů	515
3.	S turbulátory	575
4.	S turbulátory	583

Tab. č. 11.2 Zadržný popel s popílkem před a po konstrukční úpravě

tabulka stavu před a po

### Hořlavina ve škváře

Na reprezentativních vzorcích z popelníku mi rozborů potvrdily, že turbulátory způsobují dokonalejší vyhoření hořlavých látek v palivu. Je to dáno změnou proudění, které nutí spaliny turbulovat a setrvávat déle ve spalovacím prostoru a tím jim dají více času na spálení a využití chemické energie z paliva. Ta se přeměňuje na tepelnou energii spalin. Nedopal ve škváře se snížil z 35,84 % na 28,76 %. Opět je výsledek po úpravě znatelný.

Pořadí měření	Konstrukční úprava	Nedopal ve škváře [%]
1.	Bez turbulátorů	35,84
2.	Bez turbulátorů	
3.	S turbulátory	28,76
4.	S turbulátory	

Tab. č. 11.3 Nedopal před a po konstrukční úpravě

## **Závěr**

Cílem mé diplomové práce bylo navrhnout konstrukční úpravu u automatického kotle na hnědé uhlí tak, abych dosáhla čtvrté emisní třídy dle ČSN EN 303-05. Cílem tedy byla hlavně redukce TZL vypouštěných při 10 % O<sub>2</sub> pod 60 mg/m<sup>3</sup> spalin. Jelikož jsem ve svém měření pracovala pouze s běžně dostupnými zařízeními a měřidly, rozhodla jsem se konstrukční zásah do kotlového tělesa prověřit jinou metodou, než uvádí norma. Ve státních zkušebnách se provádějí zkoušky po dobu 6 hodin za ideálních podmínek. Potom účinnost a emise naměřené ve zkušebnách neodpovídají skutečné provozní účinnosti u provozovatelů. Je to tím, že v domácích kotelnách se těžko dosahuje ideálních podmínek. Já se o to při své diplomové práci pokusila.

Po konstrukční úpravě, která spočívala ve vložení ocelových ekonomizérů do všech spalinových průduchů ve výměníku v kotli, jsou tuhé částice redukovány o 16 g na 1 kg spalovaného uhlí. Bez ohledu na to, jak by to dopadlo ve státní zkušebně s emisní třídou, myšlenka byla snížit nedopal v tuhých zbytcích, tím zmenšit jeho objem a omezit saze, dále mechanicky zachytit co největší množství prachu v kotli a pomocí zlepšení přenosu tepla ze spalin přes stěnu výměníku do vody snížit množství potřebného paliva.

Výsledky, kterých jsem dosáhla ve své práci, jsou velmi uspokojivé. Pomocí jednoduchého technického postupu jsem ověřila praktické výsledky použití spalinových turbulátorů. Ty, se kterými jsem prováděla měření já, jednoznačně ovlivňují proces spalování a tím i celého vytápění pozitivním směrem. Pro mě, jako pro uživatele, je důležité zvýšení tepelného výkonu – tím samozřejmě úspora paliva a snížení nákladů na vytápění. Na tom se podílí i vliv delšího setrvání hořlavých složek v topeništi a spalinových cestách a tím snížení nedopalu v palivu. Další důležitá hodnota pro každého uvědomělého občana je snížení úletu o nezanedbatelných 16 g z 1 kg paliva.

Použité ekonomizéry jsou nenáročné na výrobu i na manipulaci a umístění do výměníku. Jsou tedy jednoduchým, efektivním a poměrně levným řešením z hlediska pořizovacích i provozních nákladů a zlepšují vytápění v domácích topeništích. Podobný princip lze aplikovat na spoustu dalších kotlů ostatních výrobců. Někteří dokonce sami nabízejí obdobné turbulátory jako doplňující sortiment ke kotlům.

Jako negativum této úpravy vnímám malé zkomplikování obsluhy kotle. Zvláště při čištění. Turbulátory se musí vyjímat, oklepávat a čistit. Jejich tvar není tak jednoduchý jako prázdné trubky a rovné stěny výměníku. Je to tedy více časově náročné. Je třeba dbát i více na bezpečnost. Při vyjímání ekonomizérů za jejich vrchní zarážky, které slouží i jako úchopy, je třeba vyčkat na celkové vychladnutí. Bez turbulátorů se dal kotel čistit i za provozu.

Turbulátory jsem používala při běžném vytápění našeho domu celou topnou sezónu 2014/2015. Na jaře se začaly postupně ulamovat a upadávat lopatky na velkém lopatkovém turbulátoru. Jejich materiál a tloušťka nejsou zcela vhodné pro používání tak blízko plamene v ohništi. Vlivem teplotní koroze se obyčejný ocelový plech doslova rozpadl. Výrobce kotle BenekovTHERM s. r. o. uváděl, že zapůjčené turbulátory jsou pouze prototypy, které byly později nahrazené jinými. Ty, které jsou tedy přímo u zakoupeného kotle Cosmoterm U25 nyní, jsou určitě odolnější.

[1] Česká republika. Zákon o ochraně ovzduší. In: č. 201/2012 Sb. 2012, 69/2012. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201#cast1>

[2] Metodický pokyn. *METODICKÝ POKYN MINISTERSTVA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ODBORU OCHRANY OVZDUŠÍ k definici nízkoemisního spalovacího zdroje*. Ministerstvo životního prostředí. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/nizkoemisni\\_spalovaci\\_zdroj/\\$FILE/OO-nizkoemisni\\_spalovaci\\_zdroj-20090324.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/nizkoemisni_spalovaci_zdroj/$FILE/OO-nizkoemisni_spalovaci_zdroj-20090324.pdf)

[3] Česká technická norma ČSN EN 303-5. *Kotle pro ústřední vytápění: Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční a samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 500 kW - Terminologie, požadavky, zkoušení a značení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

[4] STUPAVSKÝ, Vladimír. Směrnice o Ekodesignu pro kotle a kamna na tuhá paliva Zdroj: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11937-smernice-o-ekodesignu-pro-kotle-a-kamna-na-tuha-paliva>. In: *Tzb-info* [online]. 2014 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11937-smernice-o-ekodesignu-pro-kotle-a-kamna-na-tuha-paliva>

[5] STUPAVSKÝ, Vladimír. Energetické štítky pro kotle a kamna na tuhá paliva – příprava Směrnice o ekolabelingu Zdroj: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/12218-energeticke-stitky-pro-kotle-a-kamna-na-tuha-paliva-priprava-smernice-o-ekolabelingu>. In: STUPAVSKÝ, Vladimír. *Tzb-info* [online]. 2015, 12. 1. 2015 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/12218-energeticke-stitky-pro-kotle-a-kamna-na-tuha-paliva-priprava-smernice-o-ekolabelingu>

[6] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Grafická ročenka 2013* [online]. 2013 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/II\\_ovzd\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/II_ovzd_CZ.html)

[7] ČSN 07 0302. *PŘEJÍMACÍ ZKOUŠKY PARNÍCH KOTLŮ*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1996.

[8] SEVEROČESKÉ DOLY A. S. *KATALOG HNĚDÉHO UHLÍ: 2015*. Chomutov, 2015. Dostupné z: [http://www.sd-bilinskeuhli.cz/dokumenty/Katalog\\_2015.pdf](http://www.sd-bilinskeuhli.cz/dokumenty/Katalog_2015.pdf)

[9] MATOUŠEK, Jan Ochrana ovzduší *prezentace ppt* Ostrava

[10] KOLONIČNÝ, Jan, Veronika BOGOCZOVÁ a Jiří HORÁK. *Postupy správného topení*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2010, 131 s. ISBN 978-80-248-2255-6.

[11] TZB-info: *tabulky a výpočty* [online]. [cit. 2015-07-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/41-vybrane-vypocetni-vztahy-pro-vlastnosti-vody>

[12] NOSKIEVIČ, Pavel. *Spalování uhlí*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2002, 62 s. ISBN 80-248-0204-X.

[13] Ministerstvo životního prostředí. *MŽP zveřejnilo základní podmínky pro nové „kotlíkové dotace“ a vyhlásilo výzvy pro kraje. Na výměnu starých kotlů je 9 miliard* [online]. 2015 [cit. 2015-09-04]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/news\\_150715\\_kotlikove\\_dotace](http://www.mzp.cz/cz/news_150715_kotlikove_dotace)

[14] HL. MĚSTO PRAHA. *Pravidla Programu Čistá energie Praha 2015*. Praha, 2015. Dostupné také z: [http://portalzp.praha.eu/public/2b/8f/83/2038224\\_586955\\_pravidla2015\\_v2.pdf](http://portalzp.praha.eu/public/2b/8f/83/2038224_586955_pravidla2015_v2.pdf)

[15] LYČKA, Zdeněk. *Ocelový nebo litinový automatický kotel* [online]. 2014 [cit. 2015-09-12]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/10844-ocelovy-nebo-litinovy-automaticky-kotel>

[16] MORAVSKOSLEZSKÝ KRAJ; ODBOR ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ A ZEMĚDĚLSTVÍ. *"Takové to domácí topení": Problematika lokálních topenišť v Moravskoslezském kraji* [Brožura]. 1. MS kraj, 2012, 39 s. [cit. 2015-09-15]. ISBN 978-80-87503-27-0.

[17] KADLEC, Zdeněk. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009, 100 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-061-6

**Poděkování**

Na závěr bych chtěla poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Matouškovi, Ph. D. za podporu po dobu vytváření mé práce, za cenné rady a připomínky, které mě dovedly ke zdárnému závěru.

## Seznam příloh

1. Fyzikální vlastnosti nasycené vody a páry
2. Výkres č. 1-001 SESTAVA VÝMĚNÍKU
3. Výkres č. 3-003 LOPATKOVÝ TURBULÁTOR VELKÝ
4. Výkres č. 3-002 ŠROUBOVITÝ TURBULÁTOR
5. Výkres č. 3-004 LOPATKOVÝ TURBULÁTOR MALÝ
6. Výkres č. 4-005 PŘEPÁŽKA



## 1. Fyzikální vlastnosti nasycené vody a páry

**Fyzikální vlastnosti nasycené vody a nasycené vodní páry**

t °C	$c_p$ (kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )		$\lambda \cdot 10^3$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )		$\eta \cdot 10^6$ (Pa.s)		Pr (-)	
	voda	pára	voda	pára	voda	pára	voda	pára
0	4,222		55,1		1788		13,67	
20	4,183		59,9		1004		7,02	
40	4,174		63,5		653,3		4,31	
60	4,179		65,9		469,9		2,98	
80	4,195		67,4		355,1		2,21	
100	4,22	2,135	68,3	2,37	282,5	11,97	1,75	1,08
120	4,25	2,206	68,6	2,59	237,4	12,85	1,47	1,09
140	4,267	2,315	68,5	2,79	201,1	13,54	1,26	1,12
160	4,346	2,479	68,3	3,01	173,6	14,32	1,1	1,18
180	4,417	2,709	67,4	3,27	153	15,11	1	1,25
200	4,505	3,023	66,3	3,55	136,4	15,99	0,93	1,36
220	4,614	3,408	64,5	3,9	124,6	16,87	0,89	1,47
240	4,756	3,881	62,8	4,29	114,8	17,76	0,87	1,61
260	4,949	4,486	60,5	4,8	105,9	18,84	0,87	1,75
280	5,23	5,234	57,4	5,49	98,1	19,91	0,9	1,9
300	5,736	6,28	54	6,27	91,2	21,29	0,97	2,13
320	6,574	8,206	50,6	7,51	85,3	22,86	1,11	2,5
340	8,165	12,85	45,7	9,3	77,5	25,21	1,39	3,35
360	13,984	23,03	39,5	12,79	66,7	29,14	2,35	5,23

[17]